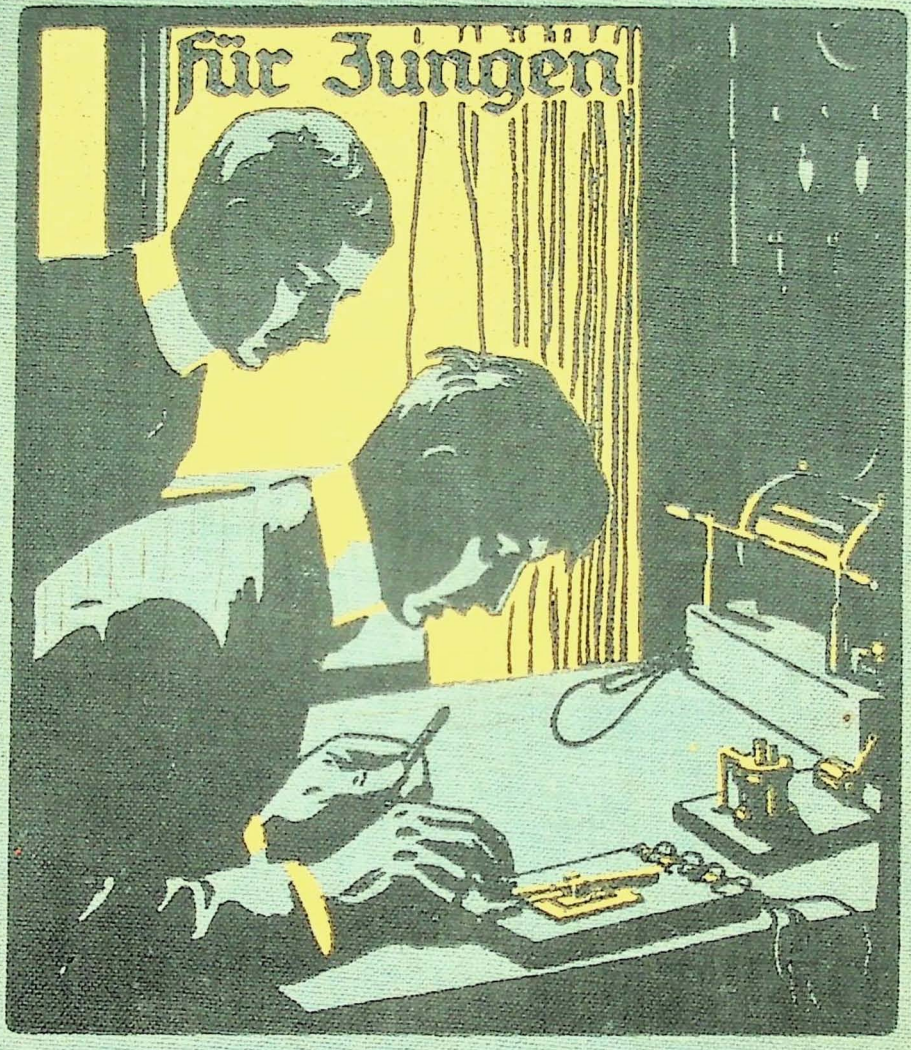
Hanns Günther

Kleine Elektrotechnik



Franckh'sche Verlagshandlung · Stuttgart

Franckhs Jugend-Bücher

Kleine Elektrotechnik für Jungen

611

Hanns Günther-Bücher!

Was ist Elektrizität?
Erzählungen eines Elektrons
124.–133. Tausend

Flugmaschinenbuch für Jungen
12.–21. Tausend im Druck

Ferienbuch für Jungen
5.–8. Tausend

Experimentierbuch für Jungen
11.–20. Tausend

Chemie für Jungen
2 Bände; 5.–12. Tausend

Große Elektrotechnik für Jungen
2 Bände; 28.–38. Tausend

Daraus einzeln:

Die Selbstanfertigung galvanischer Elemente
3.–5. Tausend

Die Selbstanfertigung kleiner Dynamos u. Elektromotoren
3.–5. Tausend

Die Selbstanfertigung von Kleintransformatoren und Gleichrichtern
3.–5. Tausend

Der Bau einer Funkstation
3.–5. Tausend

Franckh'sche Verlagshandlung
Stuttgart

Kleine Elektrotechnik für Jungen

Eine Anleitung zum Bau elektr. Apparate und Instrumente sowie zum Verständnis ihrer Wirkungsweise

Unter autorisierter Benutzung von
„Harpers Electricity Book for Boys"

frei bearbeitet von

Hanns Günther
(W. DE HAAS)

Elftes bis zwanzigstes Tausend

Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1922

Elfte bis zwanzigſte Auflage
Mit 200 Bildern im Text

By permission. /// Copyright 1917 by Harper & Brothers, London und NewYork

Nachdruck verboten. / Alle Rechte vorbehalten
Franckh'ſche Verlagshandlung / Stuttgart

STUTTGARTER XYLOGRAPHISCHE KUNSTANSTALT
HOLZINGER & Co. STUTTGART

Meinen Jungen!

Vorwort zum 11. bis 20. Tauſend.

Wie das Erſcheinen des 11. bis 20. Tauſends knapp 2½ Jahre nach dem 1. bis 10. beweiſt, hat ſich auch die „Kleine Elektrotechnik" gut eingeführt. Im allgemeinen iſt die neue Auflage unverändert geblieben; nur am Schluß des 2. Kapitels wurde ein größerer Abſchnitt eingefügt, um die häufigen Anfragen nach einer Anleitung zum Bau kleiner Akkumulatoren zu befriedigen. Ich konnte für dieſen „Nachtrag" ein Manuſkript benützen, das mir Herr cand. ing. Alb. Müller in Brünn als eifriger Baſtler freundlicherweiſe zur Verfügung ſtellte. Herr Müller hat darin eigene Erfahrungen niedergelegt. — Den heutigen Verhältniſſen entſprechende Preisangaben konnten auch diesmal nicht gebracht werden, da feſte Preisbeſtimmungen vorderhand in keinem Gewerbe möglich ſind. Wo ſich (zu Vergleichszwecken) noch Preiſe finden, ſind ſtets die Friedenspreiſe gemeint.

Erwähnen möchte ich noch, daß die frühere „Große Elektrotechnik für Jungen" jetzt unter dem Titel „Elektrotechniſches Baſtelbuch" erſcheint. Der Unterſchied zwiſchen der vorliegenden kleinen und der zweibändigen Ausgabe beſteht lediglich darin, daß die große Ausgabe in den meiſten Kapiteln mehr Apparate und Inſtrumente beſchreibt, außerdem aber auch einige Abſchnitte (über elektrochemiſche Verſuche, Teslaapparate uſw.) enthält, die der kleinen vollſtändig fehlen. Der Inhalt der vorliegenden kleinen Ausgabe iſt in der großen alſo vollſtändig wiederholt, nur ergänzt und auf breiterer Grundlage ausgebaut. Wer von den Beſitzern der kleinen Ausgabe ſpäter die große anſchaffen will, erhält ſie zu einem Vorzugspreis, wenn er dem Verlag die kleine zum Umtauſch zur Verfügung ſtellt.

Rüſchlikon (Zürichſee), im März 1922.

W. De Haas.

Erſtes Kapitel.

Allgemeine Betrachtungen.

Daß wir heute im Zeitalter der Elektrizität leben, wie unſere Väter in dem der Dampfkraft, iſt eine Binſenweisheit geworden, die man täglich zu hören oder zu leſen bekommt. Die Elektrizität war wohl die mächtigſte und furchtbarſte aller Kräfte in der Natur, ſolange der Menſch ſie nicht zu bezwingen verſtand. Sie iſt jedoch der willigſte und nützlichſte Diener der Menſchheit geworden, ſobald man gelernt hatte, ſie zu zügeln und zu beherrſchen. In dieſer Dienerſchaft aber liegt doch wieder eine Herrſchaft über uns Menſchen begründet. Die Elektrizität iſt immer noch die Herrin der Welt und ihrer Bewohner wie vordem, weil man ihre Dienſte nicht mehr entbehren kann. Zweifellos iſt die Wiſſenſchaft von der Elektrizität heute das feſſelndſte und lohnendſte Arbeitsfeld für Forſcher und Erfinder, und die beſten Köpfe aller Länder arbeiten an der Löſung der vielen Fragen, die hier noch offen ſind. Keine Mühe iſt zu groß, wenn es gilt, neue Kenntniſſe zu erſchließen, und daher hat auch faſt jeder Tag neue Entdeckungen zu verzeichnen, die Anlaß zu unerhörten techniſchen Fortſchritten geben, die wir jetzt ſchon kaum mehr zu überſehen vermögen. Trotzdem aber kennen wir, ſo ſeltſam es auch klingen mag, noch keine Antwort auf die Frage, was Elektrizität eigentlich ſei. Wir kennen wohl zahlreiche ihrer Erſcheinungsformen. Wir wiſſen auch, wie wir den elektriſchen Strom für unſere Zwecke zu verwenden vermögen. Wir laſſen ihn nach Belieben unſere Wagen treiben und zwingen ihn, unſere Häuſer und Straßen zu erleuchten. Wir wärmen unſere

Zimmer durch ihn und kochen mit ihm unſere Speiſen. Und wir laſſen ihn noch tauſend andere Dinge verrichten, indem wir nur einen Schalthebel drehen oder auf einen Kontaktknopf drücken. Was da aber eigentlich für uns ſchafft und arbeitet, weiß noch niemand von uns. Elektrizität hat kein Gewicht, keine Geſtalt, keine Farbe; man kann ſie nicht ſehen, nicht faſſen, nicht in Teile zerlegen, kann ihr überhaupt auf keine bekannte Weiſe nahekommen. So müſſen wir uns vorläufig damit begnügen, ſie als eine Abart der Energie zu betrachten, die das Weltall durchflutet, und die uns in zahlreichen, verſchiedenen Formen erſcheint, z. B. als ſtrahlende Wärme, Licht, Magnetismus, chemiſche Verwandtſchaft uſw. Ob wir der Elektrizität je näherkommen werden als bisher, iſt eine Frage, auf die ſich ebenfalls keine Antwort geben läßt. Neuerdings hat man auf Grund beſtimmter Verſuche und Beobachtungen eine Theorie ihres Weſens aufgeſtellt, die auch die andern Energieformen, die wir oben nannten, umfaßt, und die alle dieſe Erſcheinungen aus der Bewegung winzigſter Teilchen, der Elektronen, erklärt. Es handelt ſich aber dabei durchaus nicht um ſichere Erkenntniſſe der Wiſſenſchaft, ſondern um bloße Vermutungen, die vielleicht richtig ſind, vielleicht auch nicht. Wir können uns hier mit dieſen Fragen nicht näher beſchäftigen; wer ſich dafür intereſſiert, ſei deshalb auf ein kürzlich erſchienenes Werkchen aufmerkſam gemacht, das dieſe Dinge unter dem Titel „Was iſt Elektrizität?“ in volkstümlicher Form behandelt.*)

Gehen wir nun ein wenig auf die Entdeckungsgeſchichte der Elektrizität ein, ſo haben wir zunächſt zu verzeichnen, daß ſchon die alten Griechen dieſe Naturkraft kannten. Ihnen verdankt ſie auch ihren Namen, der ſich von „Elektron“, der griechiſchen Bezeichnung für Bernſtein, herleitet. Viele Jahrhunderte lang glaubte man, der Bernſtein ſei mit beſonderen

*) „Was iſt Elektrizität?“ Erzählungen eines Elektrons. Unter autoriſierter Benützung von Ch. R. Gibſon, „The Autobiography of an Electron“ frei bearbeitet von Hanns Günther. 34.—38. Auflage (134.—138. Tauſend), Stuttgart 1922, Franckh'ſche Verlagshandlung.

zauberiſchen Kräften begabt. Wenn man ein Bernſteinſtück nämlich mit einem Wollappen rieb, ſo wurde, wie man annahm, eine darin verborgene Kraft geweckt, und das äußerte ſich darin, daß der Bernſtein jetzt kleine leichte Objekte, z. B. Papierſchnitzel und dergl., an ſich heranzog. Damals konnte niemand dieſe Erſcheinung erklären. Man nahm ſie in abergläubiſcher Verehrung hin und betrachtete das gelbe Harz als mit göttlichen Kräften begabt. Um 1600 n. Chr. aber entdeckte man, daß viele andere Stoffe die gleiche Anziehungskraft zeigen, wenn ſie entſprechend behandelt werden. Reibt man beiſpielsweiſe einen Glasſtab mit Seide oder ein Schwefelſtück mit Wolle, ſo treten die gleichen Erſcheinungen auf, wenn man leichte Körper in die Nähe der geriebenen Körper bringt. Daraus zog man im weiteren Verlauf der Unterſuchungen den Schluß, daß die Elektrizität nicht eine Eigenſchaft beſtimmter Stoffe ſei, aus denen man ſie allein erzeugen könne, ſondern daß man es hier mit einer Energieform zu tun habe. 150 Jahre ſpäter wurde die Leydener Flaſche erfunden, der erſte Anſammlungsapparat für Reibungselektrizität. Dann kam Franklin mit ſeinem Drachenverſuch und wies die elektriſche Natur der atmoſphäriſchen Entladungen nach. Und wieder 50 Jahre darauf verkündete Volta ſeine Entdeckung der galvaniſchen Elektrizität, des elektriſchen Stromes, den er durch chemiſche Umſetzungen in Elementen erzeugte. Voltas Nachfolger zeigten, daß die durch Reibung entſtandene ſtatiſche und die in Elementen auf chemiſchem Wege hervorgebrachte galvaniſche Elektrizität in Wirklichkeit von einerlei Art ſeien. Damit trat die Lehre von der Elektrizität als Wiſſenſchaft auf den Plan.

Allerdings blieb die Elektrizität auch von da ab noch viele Jahre lang nichts als ein Objekt wiſſenſchaftlicher Studien, ein Laboratoriumskind, dem man praktiſchen Wert nicht zuerkannte. Man dachte allerlei hübſche Experimente mit Elektriſiermaſchine und Leydener Flaſche aus, die man in den Lehrſälen oder in der Geſellſchaft als Seltſamkeiten vorführte und tändelte auf dieſe Weiſe mit den neuen Entdeckungen herum, ohne auch nur im Traume daran zu denken, daß das unter-

haltende Spielzeug ernſter Anwendung fähig ſei. Erſt gegen die Mitte des 19. Jahrhunderts trat darin allmählich ein Wandel ein. Man begann, die Bedeutung der galvaniſchen Elemente zu erkennen, deren dauernd fließenden elektriſchen Strom man in der Telegraphie und ſpäter im Telephon verwerten lernte. Dann ſah man ſich nach der Möglichkeit der Erzeugung elektriſcher Ströme in größerem Maßſtab um und begann auf Grund der Geſetze der elektromagnetiſchen Induktion, die Faraday im Jahre 1831 entdeckt hatte, Dynamomaſchinen und Elektromotoren zu bauen. Damit war man dann endlich ſo weit, daß man die Elektrizität zur Beleuchtung und Heizung, für Transportzwecke, Kraftzwecke und auf alle die vielen anderen Arten ausnutzen konnte, in denen ſie uns heute auf der ganzen Welt dient, und jetzt begann die Elektrotechnik ihren Siegeslauf, an deſſen Beginn wir immer noch ſtehen.

Galvaniſche Batterien erzeugen Elektrizität auf chemiſchem Wege, Dynamomaſchinen durch elektromagnetiſche Induktion und Elektriſiermaſchinen durch Reibung. Die Theorien, die man darüber aufgeſtellt hat, lehren, daß alle, gleichviel auf welche Weiſe erzeugte Elektrizität dem Äther entſtammt, wo ſie ſich gewöhnlich in einem Ruhezuſtand befindet. Wird ſie aufgeſtört und durch chemiſche oder mechaniſche Mittel geſammelt, ſo ſucht ſie ſtets nach einem Wege, um wieder in den Äther zu entſchlüpfen. Dieſes Beſtreben nutzen wir aus, indem wir die Elektrizität in beſtimmter Weiſe arbeiten laſſen und ſie dadurch in Licht, ſtrahlende Wärme oder Bewegung, alſo in andre Energieformen, umwandeln. Wollen wir uns dieſen Vorgang mit ganz einfachen Worten klarmachen, ſo können wir etwa ſagen, daß die in Elementen oder Maſchinen erzeugte Elektrizität eine Art aufgeſpeicherter Energie vorſtellt, die der Energie einer hinter einem Damme geſtauten Waſſermenge gleicht. Öffnet man den Damm an einer Stelle, um das Waſſer abfließen zu laſſen, ſo läßt ſich ſeine Energie in Arbeit umſetzen, und ebenſo läßt ſich die aufgeſtaute elektriſche Energie verwerten, wenn man ihr einen Weg bietet, auf dem ſie wieder in den Äther, d. h. in den Ruhezuſtand, zurückkehren kann.

Faſt jeder meiner Leſer hat wohl ſchon mit elektriſchen Apparaten experimentiert und dabei, gleichviel ob er nur mit einer kleinen Elektriſiermaſchine und ein paar Elementen, oder etwa mit Induktionsſtrömen und Röntgenröhren hantierte, gefunden, daß hier ein weites Feld packender Unterhaltung und anregenden Studiums liegt. Dabei iſt ſicher manchem der Gedanke gekommen, den Bau ſeiner Apparate näher kennenzulernen und ſie vielleicht ſelbſt herzuſtellen. Die phyſikaliſchen Lehrbücher, aus denen die meiſten ihr Wiſſen von der Elektrizität entnehmen, ſind allerdings nie ſo ausführlich, daß ſie für ſolche Beſtrebungen als Führer dienen könnten. Aber es gibt wirklich zahlreiche elektriſche Maſchinen und Apparate, die man ſelbſt konſtruieren kann. Zweck dieſes Buches iſt es, dabei die nötigen Ratſchläge zu geben und zu zeigen, wie man ſich mit ein paar Werkzeugen, die wohl jeder beſitzt, als Elektrotechniker für den Hausbedarf auszubilden vermag. Einige Behelfe wird man allerdings in elektrotechniſchen Geſchäften kaufen müſſen, weil man ſie entweder nicht ſelbſt oder doch nicht ſo billig herſtellen kann, wie ſie der Großbetrieb liefert; in vielen Fällen aber wird das Material, das wir bei uns daheim finden, völlig genügen. Natürlich iſt es nicht möglich, in unſerm Buche die Anfertigung aller elektriſchen Apparate zu betrachten, und das wäre auch ein wenig zuviel des Guten auf einmal für uns. Wir wollen uns hier durchaus auf Dinge beſchränken, die leicht begriffen und angefertigt werden können, wenn wir unſern Verſtand, unſere Werkzeuge und unſer Material nur richtig anwenden. Sorgfalt und Genauigkeit in der Arbeit ſind allerdings unerläßliche Vorbedingungen für den Erfolg. Alle Erläuterungen ſind ſo verſtändlich wie möglich abgefaßt, und die Zeichnungen ſind ſo klar und anſchaulich, daß jeder ſie verſtehen kann, der ſich die Mühe gibt, ſich hineinzudenken. Arbeitet alſo ein danach hergeſtellter Apparat hernach doch nicht ſo wie er ſollte, ſo leſe man die Beſchreibung nochmals durch und ſehe dann nach, ob man nicht einen Fehler begangen hat. Als Fehlerurſache wird man meiſtens einen falſch geſchalteten oder zerriſſenen Draht, eine ſchlechte Ver-

bindung zwiſchen zwei leitenden Teilen oder einen kleinen Kurzſchluß, der den elektriſchen Strom von dem Wege ableitet, den er gehen ſoll, entdecken, und die Behebung des Mangels wird dann ſogleich den gewünſchten Erfolg zeitigen.

Die Erſcheinungen der ſtatiſchen oder Reibungselektrizität ſind in unſere Darſtellung nicht einbezogen, weil ihnen praktiſcher Wert, mit Ausnahme ihrer Anwendungen in der Heilkunde, eigentlich nicht innewohnt. Man kann mit Reibungselektrizität allerlei hübſche Verſuche machen, wenn man ſie in kleinen Mengen erzeugt; aber ſie iſt ihrer hohen Spannung wegen gefährlich und ſchwer zu behandeln, wenn man mit größeren Mengen arbeitet. Für die praktiſchen Zwecke, die wir hier verfolgen, kommt einzig der elektriſche Strom in ſeinen beiden Erſcheinungsformen Gleich- und Wechſelſtrom in Betracht, auf den wir uns alſo auch beſchränken.

Jeder, der mit der Elektrizitätslehre und der Elektrotechnik gut vertraut iſt, weiß, daß wir bei beiden erſt am Anfang einer Entwicklung ſtehen. Jede folgende Generation wird neue unerhörte Entdeckungen zu verzeichnen haben, und zahlreiche Erfindungen wird man noch machen, bis die Elektrizität ſchließlich den Platz einnimmt, der ihrer weltumſpannenden Macht gebührt. Jedem Jungen, der ſich mit elektrotechniſchen Dingen beſchäftigt, ſteht alſo ein weites Feld zur Betätigung offen, und der, der entſprechende Studien mit ernſtem Eifer betreibt, wird zweifellos einſt unter den Ingenieuren und Erfindern der Zukunft eine Rolle zu ſpielen vermögen. Es gibt zurzeit kaum eine beſſere Berufswahl für einen Jungen als das Studium der Elektrotechnik, und dabei wieder iſt es von großem Vorteil, wenn er von unten herauf praktiſch beginnt. Lernt er dann ſpäter komplizierte Apparate und Erſcheinungen kennen, ſo werden dieſe Studien von großem Werte für ihn ſein, denn ſie werden ihn alles leichter verſtehen lehren als jahrelanges rein theoretiſches Studium. Nur der praktiſche Elektriker lernt ſein Arbeitsgebiet gründlich kennen. Er verſteht die Wirkungsweiſe ſeiner Maſchinen bis in die kleinſte Einzelheit, weil er ſie ſelbſt hat erſtehen laſſen.

Wie wir ſchon hörten, brauchen wir bei unſerer Arbeit nur wenige, billige Werkzeuge. Ein Hammer, eine Säge, ein Hobel, ein Bohrer, ein paar Pfriemen, einige Flachzangen, eine Drahtzange, einige Feilen und eine Blechſchere finden ſich meiſt ſchon in jedem Haushalt. Ein kleines Lötzeug, das man in Werkzeuggeſchäften für wenig Geld bekommt, wird uns oft gute Dienſte leiſten, wenn wir uns vorher bei einem Klempner in die Geheimniſſe der Lötkunde einweihen laſſen. Unſer Rohmaterial iſt auch nicht teuer: Zink, Kohle, Blei, Kupferdraht, Holz, Gläſer und ein paar Chemikalien ſind ungefähr alles, was wir brauchen. Nähere Angaben darüber finden ſich jeweils in den einzelnen Arbeitsanleitungen. Als Werkſtatt richten wir uns zweckmäßig eine Ecke unſeres Arbeitszimmers her; aber auch eine Schlafzimmerecke tut's zur Not, wenn wir uns nicht anders helfen können. Zum Hämmern und Sägen werden wir möglichſt in den Garten oder Keller flüchten, und im Keller werden wir auch unſere Batterien aufſtellen, damit ſich unſere Nachbarn nicht über ſchlechte Düfte beklagen. Am beſten iſt es freilich, wenn wir über einen unbenützten Raum verfügen, etwa ein Dachzimmer oder einen Schuppen, den wir mit Regalen, Drahtleitungen uſw. ganz für unſere Zwecke einrichten können. Dabei ſollte aber jeder, gleichviel ob er Anfänger iſt oder ſchon Erfahrungen in elektrotechniſchen Dingen hat, eine Warnung annehmen und ſie immer beherzigen, die Warnung nämlich, niemals mit Starkſtrom unvorſichtig oder leichtſinnig umzugehen. Der ſtarke elektriſche Strom, der von den Dynamomaſchinen der Elektrizitätswerke in unſere Häuſer geliefert wird, iſt ein heimtückiſcher, gefährlicher Gegner, der immer bereit iſt, ſeine Bezwinger zu ſchädigen, und der ſeinen Schlag ſtets dann führt, wenn niemand daran denkt. Ich weiß aus Erfahrung, daß hier eine große Verſuchung für junge Elektriker liegt, denn eine Starkſtromleitung iſt ſcheinbar ein äußerſt bequemer Weg, ſich die Betriebskraft für ſeine Maſchinen zu verſchaffen. Aber man ſoll dieſer Verſuchung tapfer widerſtehen und die Hände von Lichtleitungen und dergl. laſſen, weil ſich ſchon viele Unglücksfälle durch Starkſtrom ereignet haben.

Der Strom, den unſere Elemente oder kleine, durch Waſſerkraft getriebene, ſelbſt hergeſtellte Dynamos uns liefern, genügt für unſere Zwecke durchaus.

Zum Schluß möchte ich jedem meiner Leſer noch ein Wort zurufen, das einſt Ediſon, der große Erfinder, zu einem jungen Menſchen ſprach, der in ſeinen Werkſtätten arbeitete. Es iſt ein Wort, das man ſich als werdender Ingenieur häufig wiederholen ſollte, denn es vermag immer wieder Anſporn zu ſein. Der junge Mann fragte Ediſon, ob nicht jede techniſche Erfindung zum größten Teile Sache des Zufalls, der plötzlichen Eingebung, ſei. Ediſon dachte einen Augenblick nach und erwiderte dann, er halte nicht viel von Erfindern, die auf zufällige Eingebungen warteten; jede gute Erfindung enthalte vielleicht zwei Prozent Eingebung, ſicher aber 98 Prozent gründliche Arbeit, die manchen Schweißtropfen gekoſtet habe.*)

Die Lehre, die für uns in dieſen Worten liegt, lautet, daß man nie etwas Ordentliches erreichen wird, wenn man ſich nicht tüchtig darum müht. Würde man die Geſchichte aller weltbewegenden Erfindungen von den erſten Anfängen an kennen, ſo würde ſich daraus ſicher die Wahrheit von Ediſons Ausſpruch ergeben. Die plötzliche Eingebung, die der Zufall dem Erfinder beſchert, iſt ſtets nur der Anfangspunkt, der zündende Funke, dem Wochen, Monate und auch wohl Jahre voll eifriger Arbeit mit Fehlgriffen und Enttäuſchungen folgen, bis endlich das Ziel wirklich erreicht iſt. In dieſer Beziehung gleicht die Technik durchaus den übrigen Gebieten menſchlicher Betätigung. Alle Erfolge muß man in harter Mühe erringen; andere Wege zu dieſem Ziel gibt es nicht. Das iſt der Leitgedanke, mit dem wir dieſe Betrachtungen ſchließen wollen, und er ſoll uns immer bei der Arbeit begleiten, an die wir nun miteinander gehen.

---

*) Der Ausſpruch Ediſons heißt engliſch: Invention is two parts inspiration and ninety-eight parts perspiration. Dabei iſt der Gleichklang von inspiration = Eingebung und perspiration = Schweiß der Kernpunkt, was ſich leider im Deutſchen nicht wiedergeben läßt.

Zweites Kapitel.

Galvaniſche Elemente und Batterien.

Die erſte Frage, mit der wir uns näher beſchäftigen müſſen, iſt die nach der Art der Elektrizitätsquellen, die wir für unſere Verſuche und für den Betrieb unſerer Apparate verwenden wollen. Wir wiſſen bereits, daß man zur Erzeugung des elektriſchen Stromes entweder galvaniſche Elemente oder Dynamomaſchinen benutzen kann. Da der Bau und die Behandlung einer Dynamomaſchine aber ſchon techniſche Kenntniſſe vorausſetzt, die wir noch nicht haben, iſt es zweckmäßiger, wenn wir mit den Elementen als mit den einfachſten Erzeugern elektriſcher Ströme beginnen und dann erſt ſpäter zu der ſchwierigeren Methode der Stromerzeugung in Dynamos, die allerdings viele Vorteile bietet, übergehen. Bevor wir jedoch die Herſtellung von Elementen in Angriff nehmen, müſſen wir uns erſt klar darüber werden, für welchen Zweck wir die betreffende Stromquelle anwenden wollen; denn es iſt durchaus nicht gleichgültig, welche der zahlreichen Arten von Elementen wir für dieſen oder jenen Zweck verwenden. Brauchen wir dauernden ſchwachen Strom, wie er für elektriſche Klingelanlagen und den Betrieb eines Haustelephons in Frage kommt, ſo werden wir Zink-Kohle-Salmiakelemente, die man nach ihrem Erfinder Léclanché-elemente nennt, benutzen. Für galvanoplaſtiſche Verſuche ſind die Kupfervitriolelemente nach Daniell zweckmäßiger. Zum Betrieb größerer Elektromotoren und zu Verſuchen mit Induktionsapparaten, für die wir ſehr ſtarke Ströme von kurzer Dauer brauchen, wählen wir das Chromſäureelement oder eine aus mehreren Elementen dieſer Art hergeſtellte Tauch-

batterie. Für ſtarke Ströme von längerer Dauer, wie ſie z. B. das Laden von Akkumulatoren oder der Dauerbetrieb von Motoren erfordert, iſt das Bunſenelement geeignet, und für Lichtanlagen werden wir am beſten Akkumulatoren aufſtellen. Die Herſtellung aller dieſer Stromquellen und noch einiger anderer wollen wir nun nacheinander kennenlernen. Dabei beginnen wir zunächſt mit der einfachſten Form, dem Zink-Kohle-Salmiakelement.

1. Das Zink-Kohle-Salmiakelement.

Sehr einfache und billige Elemente kann man aus den Kohlenſtiften der elektriſchen Bogenlampen und runden Zinkſtäben bauen, die man in einem elektrotechniſchen Geſchäft ſtückweiſe kauft. Um das obere Ende jedes Kohlenſtabs wird ein Kupferdraht geſchlungen, der mit der Drahtzange gut angezogen werden muß, damit er nicht abrutſcht oder ſich löſt. Dieſer Kupferdraht dient hernach zur Entnahme des Stroms. Eine beſonders gute Verbindung erzielt man, wenn man mit einer dreikantigen Feile eine ziemlich tiefe Rinne rund um das obere Ende des Kohlenſtabs feilt und den Draht darin befeſtigt. Die käuflichen Zinkſtäbe ſind meiſt ſchon mit einem angelöteten Kupferdraht verſehen. Iſt das nicht der Fall, ſo befeſtigt man einen ſolchen Draht auf die gleiche Weiſe daran, wie am Kohlenſtab. Dann richtet man ſich für jedes Element zwei ſchmale Holzleiſten her, von denen man jede an zwei Stellen halbkreisförmig ausſchneidet. Die Länge der Holzleiſten mag etwa 12, ihre Breite 2½—3, die Dicke 2 cm betragen; die Entfernung der beiden Ausſchnitte voneinander ſei 5 oder 6 cm. Die beiden Elektroden (Kohle- und Zinkſtab) werden zwiſchen die Holzleiſten, und zwar in die Ausſchnitte, gelegt; darauf preßt man die Leiſten durch Schrauben zuſammen, wie es Abb. 1 zeigt. Eine beſſere Anordnung der Elektroden zeigt Abb. 2. Hier hängt ein Zinkſtab zwiſchen zwei miteinander verbundenen Kohlenſtiften. Der kupferne Verbindungsdraht der beiden Kohlen darf die Zinkelektrode nicht berühren. Am oberen Ende des Zinkſtabs iſt auf der Abbildung eine Schraubenklemme

ſichtbar. So hergerichtete Zinkelektroden ſind im Gebrauch bequemer. Man kann ſie in elektrotechniſchen Geſchäften fertig kaufen, kann aber auch vorhandene Klemmſchrauben an die Zinkſtäbe löten oder beim Klempner löten laſſen. Kohlenklemmen, die die obenerwähnte Befeſtigungsart des Kupferdrahts überflüſſig machen, ſind ebenfalls käuflich zu haben (Abb. 3). Ob man ſie verwenden will, hängt von der Größe des Geldbeutels ab.

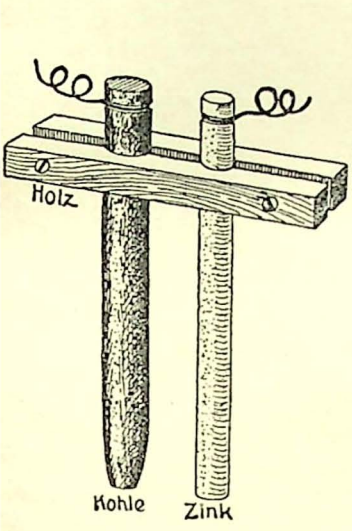


Abb. 1. Die Herrichtung der Elektroden für ein einfaches Zink-Kohle-Salmiak-Element.

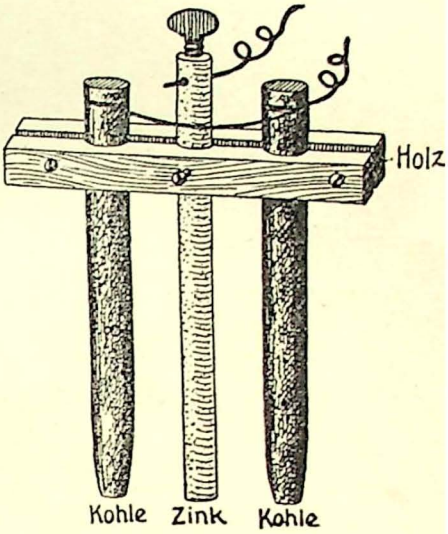


Abb. 2. Die Zuſammenſtellung von zwei Kohleelektroden und einem Zinkſtab. Der Zinkſtab iſt mit einer einfachen Polklemme verſehen. Die Kohlen ſind miteinander verbunden.

Als Elementgläſer laſſen ſich ſehr gut die billigen Einmachegläſer verwenden, die man in allen Warenhäuſern und Haushaltungsgeſchäften erhält. Aber auch niedrige Flaſchen mit ſehr weiter Halsöffnung, wie man ſie für eingelegte Früchte und feinere Gemüſe benutzt, ſind für unſere Zwecke wertvoll. Am beſten ſtöbern wir einmal die Vorratskammer oder den Keller durch; wir werden dann faſt immer paſſende Gläſer finden, die man uns wohl gern überläßt. In größeren Städten

kann man oft richtige Elementgläſer billig durch die Materialienverwaltung der Telegraphen- und Fernſprechämter beziehen, wenn dort nämlich eine Elementtype gegen eine andere umgewechſelt wird. Auf eine ſchriftliche oder mündliche Anfrage bei der Kanzlei des Telegraphen- oder Fernſprechamts erhält man ſofort entſprechende Auskunft. Vor dem Gebrauch muß jedes Elementglas am oberen Ende außen und innen mit einem etwa 2—3 cm breiten Überzug von Paraffin verſehen werden. Man läßt dazu Paraffin in einer Blechſchale ſchmelzen und trägt es dann ſchnell mit einem Pinſel auf, wenn man es

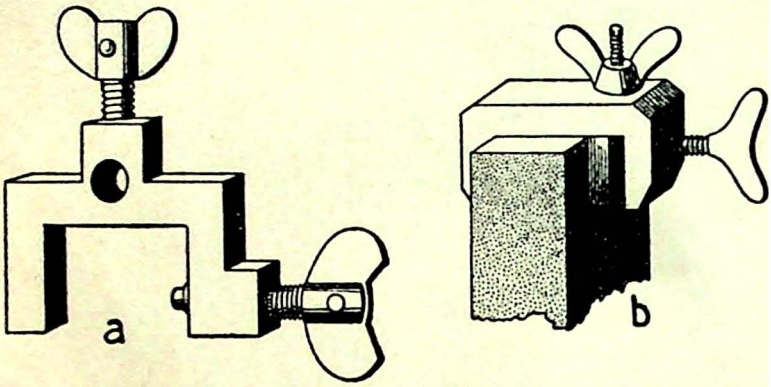


Abb. 3. Kohlenklemmen: a neue Form, b ältere Ausführung; b zeigt gleichzeitig die Befeſtigung an der Kohle; zwiſchen die ſeitliche Schraube und die Kohle wird zur Herſtellung guten Kontaktes ein beiderſeits blankgeſchabtes Bleiplättchen gelegt.

nicht vorzieht, das Glas mit dem oberen Ende in das geſchmolzene Paraffin einzutauchen, ein Verfahren, das ſehr gleichmäßige dichte Überzüge ergibt. Ein ſolcher Paraffinüberzug verhindert das Anſetzen von Kriſtallen der in den Löſungen enthaltenen Salze, die ſich bei längerem Stehen der Elemente durch die eintretende Verdunſtung bilden.

Gut iſt es, wenn wir auch die Kohlenelektroden am oberen Ende mit einem Paraffinüberzug verſehen. Natürlich muß das vor der Befeſtigung an dem Holzträger geſchehen. Die Zinkelektroden erhalten ſtatt deſſen an den aus der Elementflüſſigkeit hervorragenden Teilen einen Überzug aus

Asphaltlack, der ebenfalls schützend wirkt. Als Elektrolyt (Elektrolyt ist die Bezeichnung für die Elementflüssigkeit, durch deren Zersetzung der elektrische Strom entsteht) benutzen wir bei unsern Elementen eine 50%ige Lösung von Salmiak (S. oder Chlorammonium ist ein Salz; nicht zu verwechseln mit Salmiakgeist oder Ammoniak), die wir dadurch herstellen, daß wir so lange Salmiak in ein Gefäß mit Wasser bringen, bis das Wasser kein Salz mehr löst. Die über den ungelösten

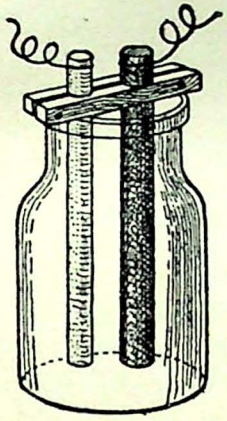


Abb. 4. Zink-Kohle-Salmiak-Element mit eingehängten Elektroden.

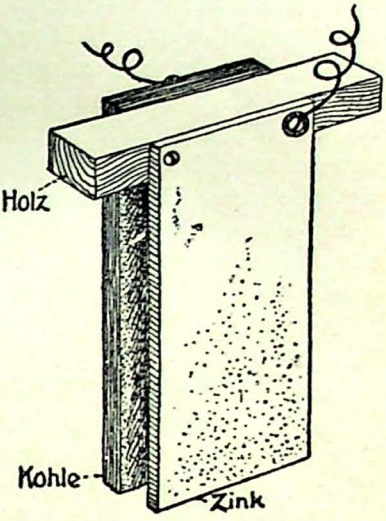


Abb. 5. Die Befestigung von Plattenelektroden.

Salmiakkristallen stehende klare Flüssigkeit, die von uns benötigte Salmiaklösung, gießen wir ab, verdünnen sie mit der gleichen Menge reinen Wassers und füllen damit unsere Elementgläser bis zu etwa drei Viertel ihrer Höhe. Dann hängen wir die durch die Holzklammern verbundenen Elektroden so in das Gefäß, wie es Abb. 4 zeigt. War das Glas richtig gefüllt, so muß die Lösung jetzt noch etwa 2 cm unter dem paraffinierten Streifen stehen.

Statt der Stäbe aus Kohle und Zink kann man übrigens

als Elektroden auch Platten der gleichen Stoffe verwenden, die man an einer etwa 4 cm breiten und 2—2½ cm dicken Holzleiste so befestigt, wie es Abb. 5 veranschaulicht. Aufpassen muß man, daß die Befestigungsschrauben nicht durch das Holz hindurchgehen und die beiden Platten verbinden.

Die Salmiakelemente eignen sich besonders gut für Klingelanlagen und allerhand kleine Versuche, bei denen die Stromentnahme jeweils nur kurze Zeit dauert und die keinen besonders starken Strom erfordern. Dauerströme vermögen die Salmiakelemente nicht zu liefern. Im Gebrauch haben sie den Vorteil, daß sie sehr wirtschaftlich sind, denn die Zersetzung des Elektrolyts und das damit zusammenhängende Aufzehren des teuren Zinks tritt nur ein, wenn den Elementen Strom entnommen wird. Salmiakelemente brauchen keine Wartung; sie haben eine Lebensdauer von ungefähr einem Jahr, wenn man sie nur für eine Klingelanlage benutzt. Nach Ablauf dieser Zeit braucht man sie nur mit einem neuen Zinkstab (wenn der alte verbraucht sein sollte) und frischer Salmiaklösung zu versehen, um sie sofort wieder verwendbar zu machen.

2. Die Verbindung mehrerer Elemente zu einer Batterie.

Genügt der von einem Element gelieferte Strom nicht für den gerade in Frage kommenden Zweck, so muß man mehrere Elemente der gleichen Art bauen und sie zu einer Batterie vereinigen. Die dabei am häufigsten verwendete Schaltungsart ist die Hintereinander- oder Reihenschaltung der Elemente. Man verbindet bei ihr immer den Zinkdraht des einen Elements mit dem Kohledraht des nächsten. Es bleibt dann schließlich beim ersten Element der Kohledraht, beim letzten der Zinkdraht frei, und an diese Drähte wird hernach der äußere Stromkreis angeschlossen. Die Reihenschaltung ist eine Schaltung auf Spannung. Die Spannung eines Elements (seine elektromotorische Kraft) wird in Volt ausgedrückt. Jedes unserer kleinen Salmiakelemente besitzt eine Spannung von etwa 1 Volt. Eine Batterie von drei hintereinandergeschalteten Elementen liefert also eine Spannung von $3 \times 1 = 3$ Volt. Eine Batterie aus sechs in

gleicher Weiſe verbundenen Elementen würde eine Spannung von 6 Volt liefern uſw.

Statt unſere Elemente hintereinander oder in Reihe zu ſchalten, können wir ſie auch durch Nebeneinander- oder Parallelſchaltung zu einer Batterie vereinigen. Bei dieſer Schaltart ſind alle Kohlepole miteinander verbunden, und ebenſo alle Zinkpole. Die Poldrähte zur Stromentnahme können an einen beliebigen Kohle- oder Zinkpol angelegt werden. Die Spannung einer ſolchen Batterie iſt gleich der eines einzelnen Elements. Dafür wird hier die Stromſtärke, die man in Ampere ausdrückt, vervielfacht. Ergibt z. B. eines unſerer Elemente eine Stromſtärke von 0,5 Ampere, ſo iſt die Stromſtärke einer aus drei derartigen, parallel geſchalteten Elementen beſtehenden Batterie gleich $3 \times 0{,}5 = 1{,}5$ Ampere, ihre Spannung dagegen gleich 1 Volt.

Die Art der jeweils verwendeten Schaltung hängt von der Größe des Widerſtandes des äußeren Stromkreiſes ab. Iſt dieſer Widerſtand hoch, und das iſt gewöhnlich der Fall (z. B. bei Klingel- und Fernſprechanlagen, Glühlampen uſw.), ſo ſchaltet man die Elemente hintereinander. Die Reihenſchaltung findet alſo am häufigſten Verwendung. Iſt der äußere Widerſtand klein (z. B. bei Elektromotoren mit dickdrähtiger Ankerwicklung), ſo ſchaltet man parallel. Es gibt auch ſog. gemiſchte Schaltungen, die man aber nur in Einzelfällen anwendet und die wir daher außer acht laſſen können.

3. Das Chromſäure-Element.

Beim Chromſäureelement beſteht die poſitive Elektrode aus Kohle, die negative aus Zink; für beide Elektroden wählt man am beſten die Plattenform, die uns Abb. 5 zeigte. Als Elektrolyt wird verdünnte Schwefelſäure verwendet, in der als Depolariſator doppelchromſaures Kali aufgelöſt wird. Bei dieſen Elementen wird das Zink von der verdünnten Schwefelſäure auch zerſetzt (verzehrt), wenn das Element nicht arbeitet. Um dieſe nutzloſe Zerſetzung des Zinks zu vermeiden, pflegt man die Elektroden nach beendetem Gebrauch aus dem Elek-

trolyt zu entfernen, um ſie erſt bei erneutem Gebrauch wieder einzutauchen. Man bezeichnet die Chromſäureelemente daher auch als Tauchelemente.

Die Erregerlöſung wird aus zwölf Gewichtsteilen Waſſer hergeſtellt, in denen man ein Gewichtsteil doppelchromſaures Kali (unter dieſer Bezeichnung oder unter dem Namen Kaliumbichromat kann man das Salz in Drogerien kaufen; der richtige Name heißt Kaliumpyrochromat) löſt. Die Löſung ſetzt

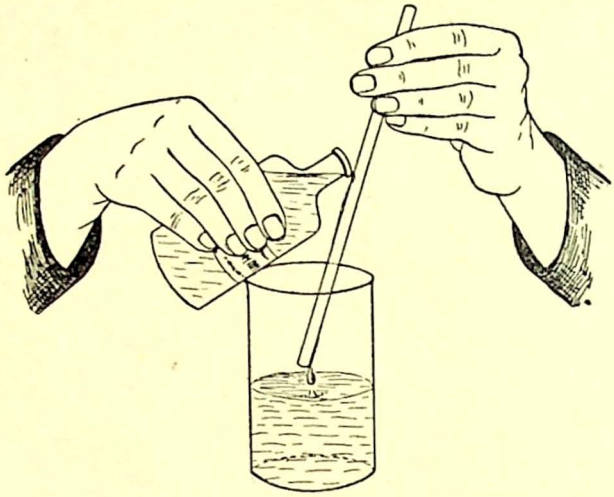


Abb. 6. Beim Eingießen von Schwefelſäure in Waſſer muß man ſehr vorſichtig ſein; am beſten läßt man die Säure in einem dünnen Strahl an einem ſchräggehaltenen Glasſtab herabfließen, wie es hier gezeigt wird; zugleich muß die Flüſſigkeit beſtändig umgerührt werden.

man am beſten in einem irdenen Topf an, da man ihr hernach noch zwei Gewichtsteile Schwefelſäure zufügen muß, durch deren Eingießen ſich das Gemiſch ſo ſtark erwärmt, daß ein Glasgefäß unter Umſtänden ſpringen kann. Beim Eingießen der Schwefelſäure muß man deshalb ſehr vorſichtig zuwege gehen. Am beſten verfährt man dabei ſo, daß man ſie unter fortwährendem Umrühren dicht am Rand des Gefäßes eingießt, ſo daß ſie langſam an der innern Wandung herabläuft. Man kann ſie aber auch (gleichfalls unter fortwährendem Umrühren!)

in einem dünnen Strahl an einem schräg gehaltenen Glasstab herabfließen lassen (Abb. 6). Die Hauptsache ist, daß sie nur allmählich eingegossen und fortwährend umgerührt wird, damit die Erwärmung nicht zu plötzlich erfolgt. Deshalb darf man auch auf keinen Fall umgekehrt verfahren und die wässerige Kaliumbichromatlösung in die Schwefelsäure gießen, da sonst eine so starke Erwärmung eintritt, daß das Gemisch zu kochen und umherzuspritzen beginnt. Schwefelsäurespritzer aber können Brandwunden an den Händen und im Gesicht verursachen, auch zerstören sie alle Kleider, auf die sie etwa fallen.

Die Zinkplatten der Chromsäureelemente müssen wir, bevor wir sie in die Lösung hängen, erst noch ein wenig präparieren, damit sie nicht gar zu schnell aufgezehrt werden, und zwar müssen wir sie mit einem Überzug von Quecksilber versehen, sie, wie man sagt, amalgamieren. Das geschieht dadurch, daß wir die Zinkplatten zunächst für einige Augenblicke in eine schwache Lösung von Schwefelsäure in Wasser (Vorsicht! siehe oben!) legen, sie dann herausnehmen, einen Tropfen Quecksilber nach dem andern auf die Platte bringen und jedesmal tüchtig verreiben.*) Sobald unsere Zinkplatten überall silberschimmernde Flächen zeigen, sind sie völlig amalgamiert und damit zum Gebrauch fertig; je dünner und zarter der Überzug ist, desto besser ist es.

Ein zweites, gleichzeitig zu benutzendes Mittel zum Schutze des Zinks im ruhenden Element besteht in der schon erwähnten Entfernung der Zinkelektroden aus der Erregerlösung. Da die Elektroden bei unseren Elementen durch einen gemeinsamen Holzstab verbunden sind, entfernt man natürlich beide gemeinsam. Gut ist es, die Elektroden jeweils kräftig abzuwaschen, um alle anhaftenden Spuren der Lösung, die noch zersetzend wirken können, zu entfernen.

Über das Zusammensetzen der Chromsäureelemente brauchen wir weitere Worte nicht zu verlieren, denn alles ist genau so wie beim Salmiakelement. Für die Verbindung mehrerer Ele-

*) Bei der Arbeit mit Quecksilber heißt es ebenfalls vorsichtig sein, denn Quecksilberdämpfe sind für unsere Lungen schädlich.

mente zu einer Batterie gelten die auf Seite 20/21 gegebenen Regeln.

Wenn zwei oder mehr Chromſäureelemente zu einer Batterie vereinigt werden, ſo iſt es zweckmäßig, die Kohle- und Zinkelektroden ſämtlicher Elemente ſo zu befeſtigen, daß ſie alle gemeinſam in die Erregerflüſſigkeit eingetaucht oder daraus entfernt werden. Wie das geſchehen kann, zeigt uns Abb. 7 an einem leicht verſtändlichen Beiſpiel. Wir ſehen dort ein einfaches Holzgeſtell, in dem drei Elementgläſer dicht nebeneinander ſtehen. Die beiden Seitenteile des Geſtells ſind hinten hochgeführt, oben durch eine Querleiſte verbunden und mit zwei wagrecht nach vorne vorſpringenden hölzernen Trägern verſehen, die ihrerſeits durch zwei ſchräge Verbindungsleiſten unterſtützt werden. Die zu jedem Elementglas gehörenden Elektroden ſind, wie wir in der gleichen Abbildung bei A ſehen, durch Holzleiſten an einem ſchmalen Brett befeſtigt, das etwas länger als das Geſtell iſt. Die Befeſtigung der Elektroden an den Querleiſten geſchieht in der aus Abb. 5 erſichtlichen Weiſe. Die Querleiſten werden ihrerſeits durch ſtarke Holzſchrauben an dem Längsbrett befeſtigt. Die einzelnen Elemente werden durch iſolierte Drähte nach Wunſch hinter- oder nebeneinander geſchaltet. Man kann aber auch jede Elektrode mit einer beſonderen Klemmſchraube (über die Anfertigung ſiehe S. 92 ff.) auf dem langen Brett verbinden, und dann die Schaltung jeweils mit ein paar Griffen ändern. Soll die Batterie Strom liefern, ſo legt man das Brett mit den Elektroden ſo auf den Rand der Gläſer, daß die Platten in die Erregerflüſſigkeit eintauchen. Nach beendetem Gebrauch hebt man das Brett und legt es auf die rechts und links befindlichen wagrechten Träger,

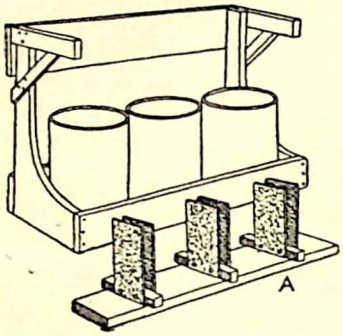


Abb. 7. Eine aus drei Elementen hergeſtellte einfache Tauchbatterie; A veranſchaulicht die gemeinſame Befeſtigung der Elektroden.

die es in dieſer Stellung halten. Die noch an der Elektrode hängende Flüſſigkeit kann dann langſam in die Gläſer abtropfen.

Mehr als 5—6 Elemente in dieſer Weiſe zu einer Einheit zuſammenzuſetzen empfiehlt ſich nicht; die Handhabung wird dann zu umſtändlich.

Richtet man die Aufhängevorrichtung ſo ein, daß man die Platten je nach Wunſch verſchieden tief eintauchen kann, ſo hat man ein einfaches Mittel in der Hand, die Stärke des von der Batterie gelieferten Stromes zu verändern. Deſſen Stärke wächſt und fällt nämlich mit der Größe der in die Erregerflüſſigkeit eintauchenden Elektrodenflächen. Je tiefer die Elektroden eintauchen, deſto ſtärker iſt der Strom, den das Element liefert. Die Elementſpannung bleibt dagegen unverändert. Sie beträgt ungefähr 2 Volt, iſt alſo außerordentlich hoch. Trotzdem empfiehlt ſich die Verwendung von Chromſäureelementen durchaus nicht in allen Fällen, weil die Handhabung unbequem iſt, und weil Zink und Elektrolyt ſchnell verbraucht werden. Beide ſind alſo oft zu erneuern; mit der Erneuerung des Elektrolyts wird aber auch jedesmal eine Erneuerung des darin aufgelöſten, ziemlich teuren Depolariſators nötig, und das alles macht das Chromſäureelement koſtſpielig im Gebrauch, alſo bei länger dauernder Stromentnahme unwirtſchaftlich. Wir verwenden es daher nur in ſolchen Fällen, in denen wir für kurze Zeit ſtarke Ströme brauchen, etwa zum Betrieb kleinerer Elektromotoren und Funkeninduktoren, für Momentbeleuchtung uſw.

4. Das Daniell-Element.

Die einfachſte Form des Daniell-Elements ſtellt Abb. 8 dar. Wir ſehen dort wieder das uns bekannte, am oberen Rande innen und außen paraffinierte Elementglas, darin aber diesmal nicht Kohle als poſitive Elektrode, ſondern an Stelle der Kohle eine Kupferplatte. Als negative Elektrode dient ein etwa 8 cm hoher Ring aus Zinkblech von 1,5—2 cm Stärke. Dieſen Ring ſtellen wir aus einem etwa 8 cm breiten Stück Zinkblech, das wir beim Klempner kaufen, dadurch her, daß wir es über

einer Flaſche, die etwas enger ſein muß als das Elementglas, aufwickeln. Die Länge des zu kaufenden Blechs richtet ſich nach der Weite unſerer Elementgläſer, deren innern Umfang wir ja als tüchtige Mathematiker leicht berechnen können. Der Umfang eines Kreiſes wird nach der Formel $2\,r\,.\,\pi$ ermittelt. $2\,r$ iſt gleich dem innern Durchmeſſer der Elementglasöffnung, alſo z. B. gleich 12 cm. Die Zahl π iſt gleich 3,14. Das Blechſtück muß alſo $12 \times 3{,}14 = 37{,}68$ cm lang ſein, um einen Zylinder zu ergeben, der in unſer Glas genau paßt. Auf ein paar

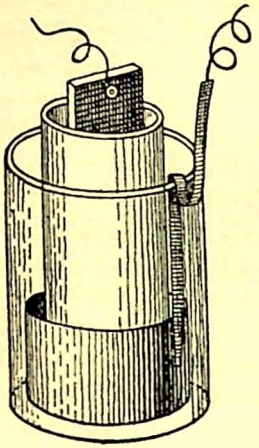


Abb. 8. Daniell-Element.

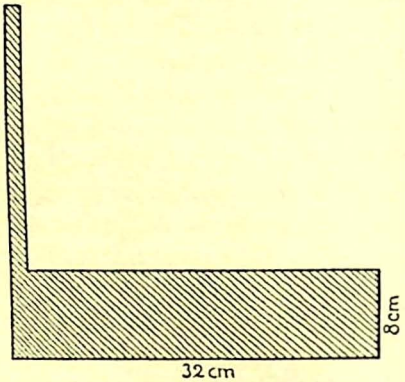


Abb. 9. Schema des Bleches zur Herſtellung eines Zinkzylinders mit Anſatzſtreifen; die Maßangaben gelten für ein Glas von etwa 12 cm Durchmeſſer.

Dezimalſtellen kommt es hier natürlich nicht an, denn wir nehmen doch ein etwas kürzeres Blech, weil der Zylinder frei ſtehen ſoll. 32 bis 33 cm Länge genügen alſo vollkommen. Das Zinkblech wird vor der Herſtellung des Ringes gut amalgamiert. Zur Stromableitung lötet man einen Kupferdraht an den Kupferzylinder. Man kann aber ſtatt deſſen ebenſogut einen Zinkblechſtreifen verwenden, wie das Abb. 8 zeigt, und daran erſt den Poldraht befeſtigen. Biegt man den Zinkſtreifen über den Rand herunter und dann wieder hinauf, ſo ſichert er den Zylinder gleichzeitig gegen jede Verſchiebung. Statt einen

ſolchen Streifen anzulöten, kann man ihn auch nach Abb. 9 mit dem Zylinderblech aus einem Stück ſchneiden.

Im Innern des Zinkringes ſehen wir auf Abb. 8 einen zweiten Zylinder, der ſeinerſeits die plattenförmige Kupferelektrode (ein Stück Kupferblech von etwa 2,5 bis 3 mm Dicke) enthält. Dieſer zweite, unten geſchloſſene Zylinder iſt eine poröſe Tonzelle, die man in einem elektrotechniſchen Geſchäft kauft. Der Tonzylinder bleibt, falls man ihn ab und zu reinigt, dauernd verwendbar. In dem poröſen Tonzylinder, der mit einer geſättigten Löſung von Kupfervitriol in Waſſer gefüllt iſt, ſteht die bereits erwähnte Kupferelektrode, die ebenfalls einen Poldraht trägt. Man ſorgt dafür, daß immer einige Kupfervitriolkriſtalle auf dem Boden der Tonzelle liegen, damit die Löſung ſtets geſättigt bleibt. Das Elementglas ſelbſt iſt mit einer Löſung aus 3 Gewichtsteilen Schwefelſäure in 100 Gewichtsteilen Waſſer gefüllt, in der der Zinkring ſteht. Kupfervitriollöſung und Elektrolyt ſollen im Glas und im Tonzylinder gleich hoch ſtehen und mindeſtens 2 cm unter dem unteren Rande des Paraffinüberzugs bleiben, mit dem man das Glas und auch das obere Ende des Tonzylinders verſieht.

Wird das Element längere Zeit nicht gebraucht, ſo entfernt man den Zinkring aus dem Tonzylinder und wäſcht ihn kräftig ab. Im allgemeinen aber kann das Zink im Element bleiben, da der Queckſilberüberzug es ſchützt. Die übrigen Teile nimmt man bei längerem Nichtgebrauch ebenfalls auseinander; die Löſungen bewahrt man in verſchloſſenen Flaſchen auf. Friſch angeſetzte Elemente liefern immer kräftigere Ströme als ſolche, die ſchon längere Zeit geſtanden haben. Zu achten haben wir darauf, daß ſich die beiden Löſungen nicht vermiſchen und daß nicht etwa Kupfervitriollöſung an die Zinkelektrode kommt. Man könnte meinen, die poröſe Tonzelle würde ihrerſeits eine Vermiſchung begünſtigen. Das iſt durchaus nicht der Fall. Sie trennt die beiden Flüſſigkeiten vollſtändig und dauernd voneinander, aber ſie läßt den elektriſchen Strom ungehindert paſſieren, ſo daß das Element im Grunde ſo arbeitet, als ob die Tonzelle nicht vorhanden wäre, die Elektroden aber neben-

einander in einem Gemiſch zweier Flüſſigkeiten ſtänden, von denen die eine durch ihre Zerſetzung den Strom entſtehen läßt, während die andere die Depolariſation beſorgt. Die elektromotoriſche Kraft der Daniell-Elemente beträgt etwa 0,98 Volt. Sie ſind recht leiſtungsfähig und verſagen auch bei langdauernder Stromentnahme nicht. Für den Unterhalt gilt das, was auf Seite 32 von den Krügerelementen geſagt iſt; die Batterieſchaltung geſchieht auch hier nach den früher erläuterten Regeln.

Nach den gleichen Grundſätzen wie das Daniell-Element iſt

5. Das Bunſen-Element

konſtruiert, das uns Abb. 10 im Bilde zeigt. Wir ſehen dort das Glasgefäß und darin in ſtark verdünnter Schwefelſäure (2 Teile Schwefelſäure, 20 Teile Waſſer) die Zinkelektrode, die ebenfalls zylinderförmig, jedoch größer iſt als beim Daniell-Element (Höhe 14—15 cm). In die Mitte des Glaſes iſt die mit Salpeterſäure (größte Vorſicht beim Arbeiten damit!) gefüllte poröſe Tonzelle eingeſtellt, und darin wieder befindet ſich als poſitive Elektrode die Kohle.

Leider entwickelt das Bunſenelement im Betrieb ſehr unangenehme Dämpfe, die beim Einatmen der Lunge außerordentlich ſchaden und außerdem alle möglichen Stoffe ſo heftig angreifen, daß ſie die Verwendung des Elements ſtark erſchweren. Das iſt ſehr ſchade, denn wir würden ſonſt hier eine vortreffliche Stromquelle haben, da das Bunſenelement eine elektromotoriſche Kraft von 1,9 Volt aufweiſt und je nach der Größe der Elektroden Ströme von 5—10 Ampere Stärke abgeben kann. Auch iſt es im Betrieb viel ſparſamer als das Chromſäureelement, weil man bei ihm die verbrauchte Schwefelſäure zu erſetzen vermag, ohne die Salpeterſäure, die ruhig in ihrer Tonzelle bleibt, zu verlieren. Aber dieſe Vorteile vermögen doch den Nachteil der ſchädlichen Dämpfe nicht aufzuwiegen, und ſo verwenden wir das Bunſenelement beſſer nur dort, wo wir für längere Zeit kräftige und konſtante Ströme brauchen, alſo z. B. in größeren galvanoplaſtiſchen Anlagen und zu elektrochemiſchen Verſuchen. Bunſenelemente ſollen nach beendetem Gebrauch ſtets

ganz auseinandergenommen und gereinigt werden, schon weil sich das Zink auch bei ruhendem Element verbraucht. Man gießt beim Reinigen zunächst die Säuren vorsichtig (Glastrichter verwenden) in Flaschen ab (Chemikalienflasche mit eingeschliffenem Glasstöpsel für Salpetersäure unbedingt nötig), spült Gläser, Tonzellen und Elektroden gut mit Wasser, trocknet und setzt sie ohne Säuren wieder zusammen, um sie bis zum nächsten Gebrauch trocken stehen zu lassen. Es ist dann jeweils nur das Ein-

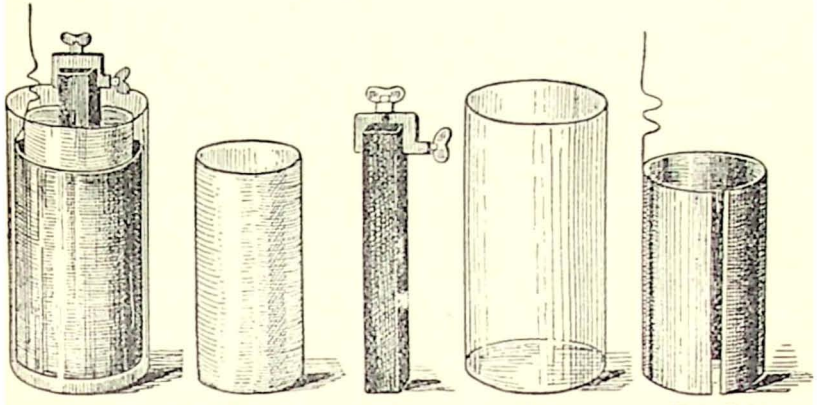


Abb. 10. Bunsenelement. Rechts die einzelnen Teile, links das gebrauchsfertige Element. In die Tonzelle kommt als Depolarisator Salpetersäure, in das Glas als Elektrolyt stark verdünnte Schwefelsäure.

füllen der Säuren nötig, um die Elemente betriebsfertig zu machen.

Zu beachten ist, daß die Zinkelektroden bei Bunsenelementen stets besonders gut amalgamiert sein müssen, um zu großem Zinkverbrauch vorzubeugen; es ist deshalb gut, wenn man zu jedem Zinkzylinder ein wenig Quecksilber gießt, das dann allmählich an den Zinkelektroden hochsteigt und sie gewissermaßen immer wieder frisch amalgamiert.

Die unangenehmen Dämpfe des Bunsenelements hat man durch mancherlei Abänderungen zu vermeiden gesucht, die aber alle zu einer Verringerung der Leistung führen. Am empfehlenswertesten erscheint die folgende Abart: Das Zink in Salmiak-

löſung oder in 3—5%iger Schwefelſäure, in der Tonzelle eine Chromſäurelöſung (ſ. S. 22), darin die Kohlenplatte. Die Spannung dieſes Elements beträgt 1,9 Volt; der Strom bleibt jedoch nur kurze Zeit konſtant.

6. Das Krüger-Element.

Von den bisher beſprochenen Elementen beſitzt jeder Typ beſtimmte Nachteile, die ſeine Verwendung für dieſe und jene Zwecke ausſchließen; das Daniell-Element iſt noch am eheſten als die häufigſt-verwendbare Form zu bezeichnen, da es verhältnismäßig ſtarke, konſtante Ströme liefert und angeſetzt ſtehen bleiben kann, alſo ſtets zur Stromentnahme fertig iſt. Der einzige Nachteil, den dieſes Element hat, iſt die immerhin nicht geringe Koſtſpieligkeit der Materialien, die es erfordert. Insbeſondere verteuern Tonzelle und Kupferelektrode die Herſtellung ſtark, und man hat ſich daher von jeher rege bemüht, ein Element der gleichen Leiſtungsfähigkeit wie das von Daniell, jedoch ohne Kupferelektrode und Tonzelle, zu erfinden. Dieſem Bemühen iſt das Krügerelement entſprungen, das Abb. 11 uns in einer Form vorführt, die wir leicht herſtellen können.

Die poſitive Elektrode beſteht bei dieſem Element aus drei dünnen Bleiblechſtreifen von je 5 cm Breite, von denen zwei halbkreisförmig gekrümmt werden, während der Mittelſtreifen gerade bleibt. Die Verbindung der drei Streifen zu einer Elektrode geſchieht durch Verſchmelzung. An einem der Streifen wird ein ſeiner ganzen Länge nach iſolierter Kupferdraht befeſtigt. Die eigentümlich geformte Zinkelektrode läßt man ſich am einfachſten beim Klempner aus dickem Zinkblech ſchneiden, von dem mehrere Lagen zuſammengelötet werden müſſen, wenn man nicht eine in der gezeichneten Form gegoſſene Zinkelektrode verwenden will. Der an die Zinkelektrode gelötete Haken, der die Platte hält, beſteht ebenfalls aus Zinkblech; er trägt oben eine einfache Schraubenklemme zur Befeſtigung des Poldrahts, der aber auch angelötet werden kann. Iſt uns die Anfertigung der angegebenen Elektrodenformen zu mühſelig, ſo können wir ſie auch durch Ringe aus dickem Zink- und

Bleiblech erſetzen. Der Bleiring ſteht auf dem Boden des Glaſes, der Zinkring muß drei ſeitliche Fortſätze (ſog. Naſen) beſitzen (Abb. 12), an denen er aufgehängt wird. Wir haben dann aber darauf zu achten, daß die Ringe nicht allzu breit ſind. Iſt das Elementglas etwa 20 cm hoch, ſo wählen wir eine Ringbreite von höchſtens 5—6 cm, damit zwiſchen den Ringen ein genügend großer Zwiſchenraum bleibt. Die Bleielektrode kommt in eine geſättigte Löſung von Kupfervitriol in Waſſer zu ſtehen,

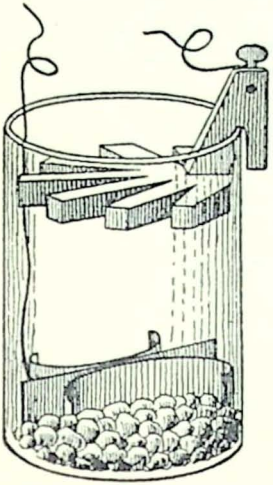


Abb. 11. Krüger-Element.

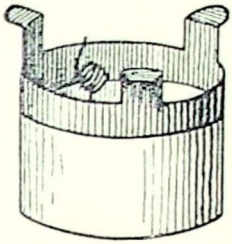


Abb. 12. Zinkring mit drei Naſen und angelötetem Poldraht; der Ring hat am oberen Ende einen Aſphaltlacküberzug von 2 cm Breite.

die die am Boden liegende Bleielektrode noch um etwa 2 cm überragen ſoll. Damit die Löſung ſtets geſättigt bleibt, werfen wir ſo viel Kupfervitriolkriſtalle in das Element, daß der Boden eben davon bedeckt iſt (ſ. Abb. 11). Darauf ſtellen wir in einem andern Gefäß eine Löſung von zwei Teilen Zinkvitriol in drei Gewichtsteilen Waſſer her, die wir vorſichtig auf die Kupfervitriollöſung gießen, um dann die Zinkelektrode einzuhängen. Die Zinkvitriollöſung ſoll die Zinkelektrode um etwa 2 cm überragen, dabei aber immer noch etwas unter dem unteren Rand des Paraffinüberzugs des Glaſes bleiben. Der Haken oder die Naſen, an denen die Zinkelektrode hängt, ſind

alſo entſprechend lang zu wählen. Wurde das Element richtig angeſetzt, ſo iſt die Kupferelektrode völlig von einer tiefblauen Kupfervitriollöſung umgeben, während die Zinkelektrode in der farbloſen Zinkvitriollöſung hängt. Beide Flüſſigkeiten müſſen ſcharf voneinander geſchieden ſein; es darf nicht etwa die blaue Löſung das Zink oder die farbloſe das Kupfer berühren, da ſonſt das Element ſchlecht oder auch gar nicht arbeiten würde. Vermiſchen ſich denn aber die Flüſſigkeiten nicht von ſelbſt?, werden hier meine Leſer fragen. Nein, denn das ſpezifiſche Gewicht der Kupfervitriollöſung iſt größer als das einer Löſung von Zinkvitriol; eine Vermiſchung kann alſo, ſolange die Elemente ruhig ſtehen, nicht eintreten. Dieſe ſchöne Eigenſchaft der beiden Löſungen iſt es, die uns hier die Tonzelle erſpart. Es kommt vor, daß ſich die Löſungen beim Eingießen miſchen. Man verbindet dann die beiden Poldrähte miteinander und läßt das Element ſo (kurzgeſchloſſen) ſtehen. Nach einigen Stunden wird die Grenzlinie ſcharf markiert erſcheinen, worauf man die Verbindung der Pole wieder aufhebt, um fortan das Element wie jedes andere zu verwenden.

Beim Arbeiten des Elements werden die beiden Flüſſigkeiten zerſetzt; dabei wird aus der Kupfervitriollöſung Kupfer ausgeſchieden, das ſich auf der Bleielektrode niederſchlägt und ſie allmählich ganz überzieht, ſo daß wir auch in dieſem Element nach kurzer Friſt eine Kupferelektrode erhalten, ohne daß wir ſie beſonders zu kaufen brauchten.

Das Krügerelement muß an einem ſehr ruhigen Platz aufgeſtellt ſein, damit ja nicht eine Miſchung der Zinkvitriol- mit der Kupfervitriollöſung eintritt. Geſchieht das doch, ſo wird der Zinkzylinder durch chemiſche Umſetzungen anderer Art augenblicklich zerfreſſen.

Der Unterhalt dieſer Elemente beſchränkt ſich im allgemeinen auf den Erſatz des verbrauchten Kupfervitriols, das immer ſo reichlich vorhanden ſein muß, daß der Boden des Glaſes von Kriſtallen bedeckt iſt. Neue Kriſtalle wirft man vorſichtig ein, um nicht etwa ungewollt eine Miſchung der beiden Löſungen herbeizuführen. Nach längerem Gebrauch wird

es ſich außerdem als nötig erweiſen, einen Teil der Zinkvitriollöſung durch einen Heber (gebogenes Glasrohr mit einem kürzeren Schenkel, der in die Flüſſigkeit taucht, und einem längeren Schenkel, der frei herabhängt und angeſaugt wird) oder einen nach Heberart wirkenden Gummiſchlauch zu entfernen und durch reines Waſſer zu erſetzen, weil dieſe Löſung allmählich zu ſtark wird. In dem arbeitenden Element wird nämlich dauernd metalliſches Zink aufgelöſt und in Zinkſulfat umgewandelt. Infolgedeſſen ſättigt ſich die Zinkvitriollöſung allmählich ſo ſehr, daß das Zinkvitriol auszukriſtalliſieren beginnt, und dem muß man durch Abzapfen und Verdünnen der zurückbleibenden Löſung mit reinem Waſſer abhelfen. Wird der Kupferüberzug der Bleielektrode zu dick, ſo kann man ihn durch Abkratzen entfernen. Gut iſt es dabei, wenn man die Bleielektrode vorher mit einem dünnen Fettüberzug verſehen hat, der die Ablöſung ſehr erleichtert.

Drittes Kapitel.

Akkumulatoren, Sekundärelemente oder Sammler.

1. Allgemeines.

Sämtliche Elementformen, die wir bisher beſprochen haben, gehören zu der Gruppe der Primärelemente, die man ſo nennt, weil ſie durch eigene chemiſche Tätigkeit elektriſchen Strom hervorbringen, ihn alſo unmittelbar oder primär erzeugen. Den Gegenſatz dazu bilden die Sekundärelemente, auch Akkumulatoren oder Sammler genannt, die erſt durch die Zufuhr von elektriſchem Strom zu chemiſcher Tätigkeit angeregt werden, um dann durch eine Umkehr dieſer Tätigkeit wieder Strom zu liefern. Wir bekommen bei ihnen den gewünſchten Strom alſo erſt aus zweiter Hand (ſekundär). Wer dieſe Erläuterung hört, wird natürlich gleich fragen, warum man denn überhaupt zu ſekundären Elementen greift, wenn man doch primäre hat?

Iſt es nicht unſinnig, zunächſt den Strom in ein ſekundäres Element einzuleiten, ihn dort mit Verluſten verbundene chemiſche Umſetzungen vornehmen zu laſſen und dieſe Umſetzungen dann in umgekehrter Reihenfolge auf den Anfangszuſtand zurückzuführen, um dadurch wieder Strom herauszuholen? Bei oberflächlicher Betrachtung wird man leicht geneigt ſein, dieſe Frage zu bejahen, doch einige Überlegung zeigt uns hier eine neue Möglichkeit, zu der uns die primären Elemente niemals verhelfen können. Man hat den elektriſchen Strom häufig mit fließendem Waſſer verglichen, um ſeine Eigenſchaften bequemer erläutern zu können. Dieſen Vergleich wollen wir jetzt auch einmal anwenden. Denken wir uns ein ſchmales, kleines Wäſſerchen, das hoch über einen Felſen herabfließt. Es wird nicht beſonders viel Arbeit leiſten können, wenn wir es nicht irgendwie nach und nach aufſtauen oder ſammeln, um dann den Inhalt des Sammelbeckens auf einmal nutzbar zu machen. Ein ähnliches Problem haben wir bei unſeren primären Elementen. Der Strom, den ſie liefern, entſpricht einem kleinen Bach, denn er kann nur wenig Arbeit leiſten, aber er arbeitet lange Zeit hindurch unermüdlich. Dazu braucht man die Leiſtung der Elemente meiſtens nur kurze Zeit, wenn man gerade Verſuche anſtellt, uſw. Die Nacht hindurch ſind unſere Elemente gewöhnlich unbeſchäftigt, und doch vermöchten ſie auch bei Nacht und in den Ruhepauſen am Tage zu arbeiten, ohne daß jemand ſie zu bewachen brauchte. Liegt es da nun nicht nahe, das Beiſpiel unſerer Waſſerkraft auf den elektriſchen Strom zu übertragen, ihn aufzuſtauen und zu ſammeln, um ihn dann ſpäter größere Leiſtungen ausführen zu laſſen, zu denen die Primärelemente ſelbſt niemals fähig ſein würden? Die Antwort wird bejahend lauten, denn die Vorteile, die ſich da bieten, ſieht wohl jeder ein. Aber das Problem, das wir hier anſchneiden, das Problem des Aufſtapelns von im Augenblick der Erzeugung unverwertbarer elektriſcher Arbeit zu ſpäterer Benutzung, hat noch weit größere Bedeutung. Denken wir uns auf einen Augenblick hinein in die elektriſche Anlage einer großen Stadt. Den Strom erzeugt dort das Elektrizitätswerk

in rieſigen Maſchinen; der erzeugte Strom dient dann dazu, die Stadt zu beleuchten und die Kraft zum Betriebe von Arbeitsmaſchinen zu liefern. Wie aber verhält ſich hier die Stromabnahme zur Stromerzeugung? Am Tage laufen nur die Arbeitsmaſchinen, aber man braucht kein Licht; in der Nacht wird nur Licht, aber recht wenig Kraft gebraucht. Dazwiſchen liegen dann die Zeiten der Abend- und Morgendämmerung, in denen die Arbeit in den Fabriken in vollem Gange iſt, während die Kaufläden wie die Wohnhäuſer im hellſten Glanze ſtrahlen. Dieſe Abend- und Morgenſtunden ſind alſo die Zeiten der ſtärkſten Beanſpruchung des elektriſchen Stromes, und auf dieſe Beanſpruchung muß die Einrichtung des Werkes zugeſchnitten ſein. Das würde die Aufſtellung ſehr teurer und großer Maſchinen erfordern, die Tag und Nacht im Betriebe ſein müßten, obwohl man die erzeugte Energie nur ſelten voll ausnützen könnte, wenn man nicht auch hier einen Ausweg hätte, mit deſſen Hilfe ſich weſentliche Erſparniſſe machen laſſen.

Man kann auch hier die von den Maſchinen tagsüber geleiſtete Arbeit in Sekundärelementen ſammeln, ſoweit ſie nicht verbraucht wird, und ſie dann im Nachtbetrieb wieder abgeben. So können die großen Maſchinen die Nacht über ſtilliegen; ſie verbrauchen dann natürlich keine Antriebsenergie. Man kann aber auch, wenn man will, kleinere Maſchinen verwenden, und zwar ſolche, deren Leiſtung den Tagesbedarf noch überſchreitet, die aber abends den Kraftbedarf nicht zu decken vermöchten. Dann wird man tagsüber ihre Mehrleiſtung ebenfalls aufſpeichern, um ſie abends zur Unterſtützung der jetzt zu kleinen Maſchinen zu verwenden, die mit dieſer Unterſtützung alle Anſprüche befriedigen können. So ſind die Sekundärelemente, die man dieſer Verwendung wegen auch Sammler oder Akkumulatoren genannt hat, alſo doch nicht ſo unnütz, wie es zuerſt den Anſchein hatte. Sie ſpielen ſogar in der Elektrotechnik von heute eine außerordentlich große Rolle. Für uns iſt der Akkumulator unbedingt die beſte Stromquelle, denn er liefert ſtarke Ströme und iſt bei guter Wartung ſtets betriebsbereit.

Die Tatsachen, durch die man auf die Sekundär-Elemente kam, seien nur kurz angedeutet. Schicken wir einen elektrischen Strom durch eine Zersetzungszelle, in der sich zwei Platinelektroden in angesäuertem Wasser gegenüberstehen, so scheidet sich an der Kathode Wasserstoff, an der Anode Sauerstoff ab.*) So stehen sich hier jetzt nicht mehr zwei Elektroden aus gleichem Metall, sondern zwei voneinander verschiedene Elektroden gegenüber, die gegeneinander elektromotorisch wirksam sind und die, wenn man den Ladestrom abschaltet und eine äußere Verbindung herstellt, einen Strom erzeugen, der alle Eigenschaften des Stromes der primären Elemente hat und den gleichen Gesetzen unterworfen ist, aber in der entgegengesetzten Richtung fließt wie der Ladestrom. Dieser sekundäre Strom übt natürlich auf

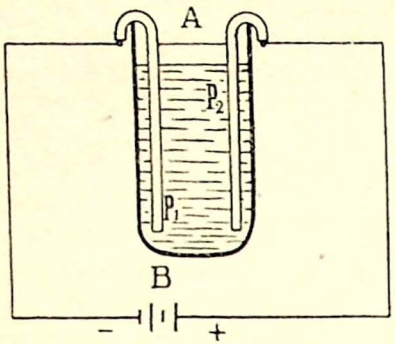


Abb. 13. Schematische Darstellung eines Akkumulators A (bestehend aus zwei Bleiplatten P_1 und P_2 in einem Gefäß mit 10%iger Schwefelsäure), der von einer Batterie B aus zwei Daniellelementen geladen wird.

*) Die Leiter des elektrischen Stromes teilt man in Leiter erster und zweiter Klasse. Leiter erster Klasse sind vor allem die Metalle und die Kohle; Leiter zweiter Klasse sind die zusammengesetzten Flüssigkeiten, z. B. die Lösungen von Säuren und Salzen im Wasser, die wir als Elektrolyte bezeichnen. Dieses Wort weist darauf hin, daß die Leiter zweiter Klasse bei einem Stromdurchgang zersetzt oder zerlegt werden, denn es hängt mit dem griechischen lyein zusammen, das lösen und zerlegen bedeutet. Den Vorgang der Zerlegung selbst nennt man Elektrolyse. Die meist plattenförmigen Elektroden werden bei der Elektrolyse in den Elektrolyten eingetaucht. Mit ihrer Hilfe wird der elektrische Strom eingeführt, der die Zerlegung besorgt. An der einen Elektrode liegt der Zinkpol der Batterie, an der anderen der Kupfer- oder Kohlepol. Die mit dem Zink verbundene Elektrode bezeichnet man als Kathode (von kat' = weg), die andere als Anode (von an' = hin) und deutet damit zugleich den Weg an, den der Strom während der Elektrolyse nimmt. Er tritt durch die Anode in die Flüssigkeit ein und verläßt sie durch die Kathode. Dabei zerlegt er die Flüssigkeit in ihre Bestandteile.

die Schwefelsäure im Element eine zersetzende Wirkung aus und läßt daraus Sauerstoff und Wasserstoff entstehen. Der Sauerstoff scheidet sich an der mit Wasserstoff beladenen Elektrode aus, der Wasserstoff an der mit Sauerstoff bedeckten, und an beiden bildet sich dadurch Wasser. Infolgedessen verschwinden die Gasüberzüge allmählich, und schließlich stehen sich wieder die reinen Platinelektroden gegenüber. In diesem Augenblick hört dann die Stromlieferung auf: das sekundäre Element ist *entladen*. Die Entladungsdauer, also die Dauer des sekundären Stromes, ist von der Ladungsdauer abhängig. Je länger die Ladung währt, desto mehr Wasserstoff und Sauerstoff entstehen, und desto länger dauert hernach die Rückverwandlung, vorausgesetzt, daß die beiden Gase auch wirklich an den Elektroden haften und nicht etwa in die Luft übergehen.

Diese Tatsachen gelten nun nicht nur für Platinelektroden in Schwefelsäure, sondern für jeden Fall, in dem eine Flüssigkeit zwischen zwei Elektroden zerlegt wird. In jedem Fall entsteht ein sekundäres Element, das Strom liefern kann, und es kommt nur darauf an, die Zusammenstellung, die die beste Ausnutzung gestattet, ausfindig zu machen. Der Entdecker dieser Kombination und des ersten, einigermaßen brauchbaren sekundären Elementes war ein Franzose namens *Planté*, dem im Jahre 1860 der große Wurf gelang. Wir sind heute weit über die ursprüngliche Bauart Plantés hinausgekommen und haben sie vielfach verbessert, aber wir benutzen immer noch das gleiche Prinzip, das Planté vor 60 Jahren anwendete: zwei Bleiplatten in verdünnter (10%iger) Schwefelsäure (vgl. Abb. 13). Schickt man durch diese Zusammenstellung einen kräftigen Ladestrom, etwa den Strom zweier Daniellelemente, so wird die Schwefelsäure (H_2SO_4) in Wasserstoff (H_2) und den Säurerest SO_4 zerlegt. Der Wasserstoff geht zur Kathode; von dem Säurerest SO_4 nimmt das Blei der Anode ein Sauerstoffatom (O) weg; wenn dann von dem Säurerest, der bei der nächsten Zerlegung eines Schwefelsäuremoleküls entsteht, ein zweites Sauerstoffatom hinzukommt, so wandeln diese beiden Sauerstoffatome ein Atom Blei (Pb) zu Bleisuperoxyd (PbO_2) um. Die

übrigbleibende waſſerfreie Schwefelſäure (SO_3) nimmt ſofort Waſſer (H_2O) aus der Löſung auf, um wieder zu H_2SO_4 zu werden. Äußerlich zeigen ſich dieſe Vorgänge dadurch an, daß die an den +-Pol der Ladebatterie angeſchloſſene Platte, die Anode, erſt lichtbraun, dann dunkelbraun und endlich ſchwarz wird, während die andere Platte, die Kathode, ihre ſtahlgraue Tönung beibehält. Sobald die Umfärbung der Anode ſich vollzogen hat, iſt die Ladung beendet. Wir haben dann als Ergebnis des Prozeſſes ein richtiges Element vor uns, in dem ſich eine Bleiſuperoxyd- und eine Bleielektrode in verdünnter Schwefelſäure gegenüberſtehen. Verbindet man die beiden Elektroden nach Wegnahme der Ladebatterie durch einen Leitungsdraht, in den man irgendeinen Stromverbraucher, etwa eine 2-Volt-Glühlampe, eingeſchaltet hat, ſo zerlegt der entſtehende Strom die Schwefelſäure wieder. An der früheren Anode, die jetzt durch Stromumkehrung zur Kathode wird, entſteht Waſſerſtoff, der dem Bleiſuperoxyd (PbO_2) ein Atom Sauerſtoff (O) wegnimmt, es alſo zu Bleioxyd (PbO) umwandelt. Das Bleioxyd aber iſt in der Schwefelſäure nicht lebensfähig und geht damit eine Verbindung zu ſchwefelſaurem Blei ($PbSO_4$) ein. An der früheren Kathode, der jetzigen Anode, ſcheidet ſich gleichzeitig Sauerſtoff aus. Dieſer Sauerſtoff oxydiert das hier vorhandene reine Blei zu Bleioxyd (PbO), und dieſes Bleioxyd bildet mit der Schwefelſäure ebenfalls ſchwefelſaures Blei ($PbSO_4$). So ſtehen ſich alſo ſchließlich zwei gleichartige Elektroden aus Bleiſulfat gegenüber, und damit hört die Stromlieferung natürlich auf. Eine neue Ladung führt wieder eine Umwandlung der Elektroden herbei, und ſo laſſen ſich Ladung und Entladung im Wechſel dauernd wiederholen.

Tut man das, ſo bemerkt man bald, daß jede Ladung länger dauert, als die vorangehende, daß aber auch die Stromentnahme um ſo länger fortgeſetzt werden kann, je öfter man den Sammler geladen und wieder entladen hat. Nur geht das nicht ins Unendliche fort. Vielmehr kommt man ſchließlich an einen Grenzwert, der bei Sammlern mit großen Elektroden ſpäter, bei ſolchen mit kleinen Elektroden früher eintritt. Dieſer

Grenzwert heißt das Faſſungsvermögen oder die Kapazität des Akkumulators und wird in Ampereſtunden ausgedrückt. Sagt man z. B.: ein Sammler hat 3 Ampereſtunden Kapazität, ſo heißt das: die betreffende Zelle kann nach vollſtändiger Ladung 3 Stunden lang einen Strom von 1 Ampere oder 1 Stunde lang 3 Ampere liefern.*) Um dieſe Zelle zu laden, muß ich 3 Stunden lang einen Strom von einem Ampere Stärke hineinſenden. Lade ich kürzere Zeit oder die richtige Zeitdauer, aber mit einem ſchwächeren Strom, ſo bekomme ich hernach nicht die volle Leiſtung, ſondern eine entſprechend geringere, weil die Zelle nicht ganz geladen war. Dagegen iſt ganz zwecklos, länger als die richtige Zeit mit einem ſtärkeren Strom zu laden: etwa 5 Stunden lang 1 Ampere oder 3 Stunden lang 1,5 Ampere hineinzuſchicken. Abgeſehen davon, daß die Zelle dadurch geſchädigt wird — ein Punkt, auf den wir hernach noch zu ſprechen kommen — gibt ſie dann doch nicht mehr Strom her, als wenn ſie 3 Stunden lang mit 1 Ampere geladen worden wäre, weil ſie einfach nicht mehr aufnehmen kann. Die Kapazität oder das Faſſungsvermögen eines Akkumulators iſt alſo begrenzt; wo die Grenze liegt, hängt in erſter Linie von der Größe der Platten ab. Je größer die Platten ſind, deſto mehr Oberfläche ſteht für die chemiſche Umwandlung zur Verfügung und deſto größer iſt auch die Aufnahme- bzw. Leiſtungsfähigkeit. Bei der Ladung bildet ſich, wie wir ſahen, auf der Oberfläche der mit dem +-Pol verbundenen Platte ein Überzug von Bleiſuperoxyd, während die andere Platte einen Überzug von Bleioxyd erhält. Bei der Entladung bildet ſich auf beiden Platten Bleiſulfat. Setzt man Ladung und Entladung wechſelweiſe fort, ſo dringt der chemiſche Vorgang immer tiefer in die Bleiplatten ein, die dadurch allmählich porös und ſchwammig werden. Auf dieſe Weiſe vergrößert ſich die wirkſame Plattenfläche fortwährend; darin liegt der Grund, warum die Kapazität unſeres kleinen Sammlers mit jeder Ladung und Entladung wächſt. Jedoch nur bis zu dem Augenblick, wo die Platten durch und durch verwandelt

*) Daß es nicht gleichgültig iſt, ob die Zelle in einer Stunde oder in dreien entladen wird, werden wir ſpäter noch hören.

ſind. Iſt dieſer Zuſtand erreicht, ſo führt das weitere Laden und Entladen keine Kapazitätszunahme mehr herbei; der Sammler beſitzt dann ſeine volle Kapazität, die er nun bis an ſein Lebensende beibehält.

Führt man den beſchriebenen Verſuch an mehreren Zellen mit gewöhnlichen Bleiplatten durch, ſo erhält man ſchließlich eine recht leiſtungsfähige und brauchbare Batterie, die in bezug auf Dauerhaftigkeit alle nach anderen Verfahren hergeſtellten Sammler weit übertrifft. Aber die Stromkoſten, die man aufwenden muß, um die Bleiplatten umzuwandeln — zu formieren, ſagt der Fachmann — ſind ſo hoch, daß es vorteilhafter iſt, die beſchriebene, nur ſcheinbar einfache Methode nicht zu verwenden, ſondern die Platten nach dem ſog. Paſtierverfahren herzuſtellen, das die Technik dem Franzoſen Faure verdankt. Faure hatte lange über die Unzulänglichkeit des Planté-Akkumulators und die Möglichkeit, ihn zu verbeſſern, nachgedacht. Dabei kam er auf die glänzende Idee, die Platten von vornherein mit einer Bleioxydverbindung zu bedecken und ſo dem Strom drei Viertel der Arbeit zu ſparen. Faure belegte die poſitive Bleiplatte mit Mennige, einem roten Pulver, das eine Verbindung von Bleioxyd und Bleiſuperoxyd darſtellt, die negative Platte mit Bleioxyd, und zwar in der Weiſe, daß er aus jedem Stoff mit verdünnter Schwefelſäure einen dicken Brei anrührte, der ſich auf die Elektroden aufſtreichen ließ. Wird die mit ſo hergerichteten Elektroden verſehene Zelle geladen, ſo wird die Mennige auf der Anode völlig in Bleiſuperoxyd verwandelt, während das Bleioxyd auf der Kathode ſich zu Blei reduziert. Damit haben wir einen außerordentlich wirkſamen Akkumulator, der ſehr ſchnell geladen werden kann und bei der Entladung ſehr kräftige Ströme gibt.

Die nutzbare elektromotoriſche Kraft der Akkumulatoren ſchwankt je nach dem Ladungszuſtand zwiſchen 2 und 1,8 Volt für jedes Element. Iſt die Spannung auf 1,8 Volt herabgeſunken, ſo iſt die Ladung faſt verbraucht und muß durch Neuladung erſetzt werden.

Die gesamte Elektrizitätsmenge, die man in einem Akkumulator aufspeichern kann, nennt man — wie wir schon hörten — seine Kapazität oder Aufnahmefähigkeit. Genauer genommen versteht man darunter jedoch die Elektrizitätsmenge, die er in der Form von Strom bei der Entladung wieder abgeben kann, denn von dem hineingeschickten Strom wird immer etwas für die Umwandlungsvorgänge selbst verbraucht. Die Kapazität

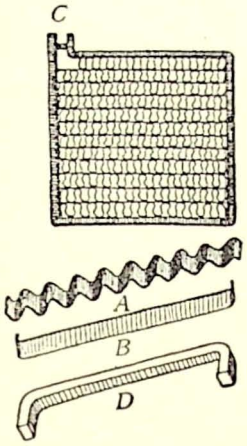


Abb. 14. Die Platte u res Akkumulators und die zugehörigen Einzelteile. A gewellter, B gerader Einsatzstreifen, C die fertige Platte. D Verbindungssteg für unsere Platten.

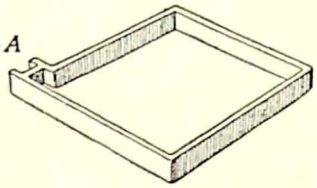


Abb. 15. Der Bleirahmen für die von uns zu bauende Akkumulatorenplatte.

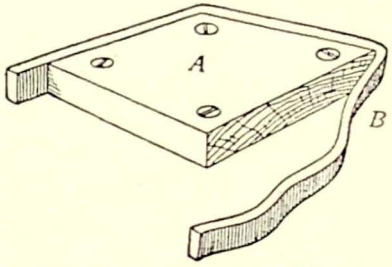


Abb. 16. Herstellung des in Abb. 15 gezeigten Bleirahmen.

drückt man — das wissen wir ebenfalls schon — in Amperestunden aus. Hat ein Sammler z. B. eine Kapazität von 40 Amperestunden, so kann er vier Stunden lang 10 Ampere oder 10 Stunden lang 4 Ampere oder 40 Stunden lang 1 Ampere hergeben. Allerdings gilt dieser Satz nur in der Theorie, denn praktisch darf eine gewisse Entladestromstärke ebensowenig überschritten werden wie eine bestimmte Ladestromstärke. In beiden Fällen werden ja die Elektroden durch chemische Vorgänge umgebildet, und es ist klar, daß eine Elektrode von be-

ſtimmter Größe in jedem Zeitabſchnitt nur eine beſtimmte Menge Gas zu dieſer Umbildung verwerten kann. Wird mehr Gas entwickelt, ſo entſteht eine Quellung der Belegmaſſe, die ſchließlich zu dem ſog. „Werfen“ der Platten führt, einem welligen Verbiegen, durch das der aufgetragene Brei abfällt, ſo daß leicht Kurzſchlüſſe in der Zelle entſtehen. Für jede Plattengröße gibt es daher einen Lade- und Entladeſtrom von beſtimmter Stärke, der ſtreng eingehalten werden muß, wenn man die Zellen nicht gefährden will.

Nach dieſer theoretiſchen Erörterung, die dazu diente, uns das Weſen der Sekundärelemente verſtändlich zu machen, können wir nun zum Akkumulatorenbau übergehen, und zwar wollen wir zunächſt einen verbeſſerten Faure-Akkumulator mit Gitterplatten bauen, einen Typ, der zwar nicht ganz einfach herzuſtellen iſt, dafür aber Ausgezeichnetes leiſtet.

2. Die Selbſtanfertigung ſtationärer Akkumulatoren.

Jeder Akkumulator beſteht aus einem Behälter, den Elektroden (präparierte Bleiplatten) und dem Elektrolyt (verdünnte Schwefelſäure). Die Elektroden wollen wir zuerſt herſtellen. Wir beſorgen uns dazu aus einer Bleihandlung oder von einem Klempner ſieben Bleiſtreifen von je 54 cm Länge, 1 cm Breite und etwa 6 mm Dicke. Können wir Bleiſtreifen dieſer Dicke nicht erhalten, ſo nehmen wir ein Stück Bleiblech von 2—3 mm Dicke, das wir mit der Blechſchere in 1 cm breite Streifen von 54 cm Länge zerſchneiden, die wir hernach zu mehreren aufeinanderlegen. Aus dieſem Material ſtellen wir die Rahmen unſerer Akkumulatorenplatten her. Abb. 14 C zeigt uns die Platte mit ihren Rippen, Abb. 15 zeigt den Rahmen allein, Abb. 16 veranſchaulicht die Art ſeiner Herſtellung. Wir ſägen aus nicht zu weichem, 1 cm ſtarkem Holz ein rechteckiges Stück von 10 cm Breite und 14 cm Länge heraus, das wir nach Abb. 16 A mit vier ſtarken Holzſchrauben auf unſerem Arbeitstiſch oder auf einer Werkbank feſtſchrauben. Dann legen wir die dicken Bleiſtreifen nach Abb. 16 B um die Kanten der Form herum, wobei wir die Streifen beſonders an den Ecken feſt

anpreſſen, damit ſie hier ſcharf rechtwinklig geknickt werden. An der Stelle, an der die beiden Enden des Bleiſtreifens zuſammenſtoßen, biegt man das eine Ende auf etwa 2—3 cm Länge rechtwinklig um und ſetzt in den entſtehenden Zwiſchenraum ein kleines Stück Blei der gleichen Dicke ein. Abb. 15 läßt erkennen, wie der Rahmen hernach ausſchauen muß. Bei A iſt das Bleiſtück eingeſetzt.

Die Verbindung des Bleiſtücks mit dem Bleirahmen geſchieht durch Verlöten, aber das Bleilöten will beſonders gelernt ſein. Man nimmt dazu den Lötkolben, macht ihn in einem Holzkohlenfeuer oder ſonſtwie glühend, reinigt ihn ſorgfältig mit Salmiak und preßt ihn auf die zu lötende Stelle, wobei man das Bleiſtückchen mit der Zange feſthält. Der heiße Kolben ſchmilzt dann Rahmen und Bleiſtück aneinander. Auf der anderen Seite wiederholt man den Vorgang. Lötzinn und Lötwaſſer werden alſo beim Bleilöten, das man vorher üben ſollte, nicht verwendet. Beſitzen wir keinen Lötkolben, haben wir aber einen Bunſenbrenner oder ſonſt eine Gasflamme zur Verfügung und wiſſen wir mit dem Lötrohr umzugehen, ſo können wir das Zuſammenſchmelzen auch durch eine mit dem Lötrohr erzeugte Stichflamme vornehmen.

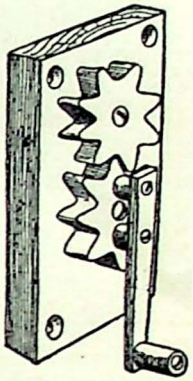


Abb. 17. Die hölzernen Zahnräder, mit denen wir die gewellten Einſatzſtreifen für unſere Platten herſtellen.

Will man zur Herſtellung des Rahmens in Streifen geſchnittenes dünnes Bleiblech benützen, ſo muß man zwei oder drei Blechſtreifen aufeinander legen, um dem Rahmen die erforderliche Dicke von 6 mm zu geben. Die einzelnen Streifen des ſo zuſammengeſetzten Rahmens werden dann in Abſtänden von 3—4 cm miteinander verſchmolzen. Ein ſo zuſammengeſetzter Rahmen iſt faſt genau ſo ſtarr wie ein Rahmen, der aus einem Stück beſteht.

Nach dem Erkalten der Schmelzſtellen nimmt man den fertigen Rahmen vom Holzklotz ab. Macht das Schwierigkeiten, ſo löſt man die Schrauben, die den Holzklotz halten, und ſtößt ihn durch

vorſichtiges Klopfen mit einem Hammer heraus. Auf die gleiche Weiſe fertigt man noch ſechs gleiche Rahmen an, denn unſer Akkumulator ſoll drei poſitive und vier negative Platten erhalten, zu denen wir ſieben Rahmen brauchen.

Die fertigen Rahmen müſſen zu ſog. Gitterplatten umgewandelt werden, in deren Maſchen ſich die Bleioxydpaſten leichter halten, als wenn man ſie auf Bleiblech ſtreicht. Zur Herſtellung der Gitter benutzen wir Bleiband von 1 cm Breite und etwa 1½ mm Dicke, das man in ziemlichen Längen kaufen kann. Für jede Platte brauchen wir etwa 11 gerade und 12 gewellte Streifen, wie wir ſie auf Abb. 14 bei B und A ſehen. Unſer Rahmen iſt innen gemeſſen 10 cm breit. Rechts und links müſſen wir die geraden Streifen mit dem Rahmen feſt verſchmelzen. Dazu werden wir jederſeits ein rechtwinklig abgebogenes Stück von etwa 1 cm Länge brauchen, ſo daß alſo die geraden Streifen im ganzen 12 cm lang ſein müſſen. Die gewellten Streifen werden wir etwa doppelt ſo lang zu wählen haben. Hat man eine Wringmaſchine im Hauſe, ſo kann man das Wellen leicht mit Hilfe der beiden Zahnräder beſorgen, die ſich an dem einen Ende der Rollenachſen befinden. Verfügt man über dieſes Hilfsmittel nicht, ſo ſchneidet man zwei Zahnräder von 1 cm Dicke mit einer ſtarken Laubſäge aus Hartholz aus, durchbohrt die Räder genau in der Mitte und befeſtigt ſie nach Abb. 17 drehbar auf einem ſtarken Brettchen, das man ſeinerſeits wieder auf dem Tiſch anſchraubt. Es iſt zweckmäßig, zwiſchen jedes Rad und den Holzblock eine Unterlegſcheibe zu bringen, um die Reibung zu vermindern. An dem einen Rad bringt man eine kleine Kurbel an und führt dann die zu wellenden Bleiſtreifen mit dem einen Ende zwiſchen die Räder ein, die man gleichzeitig langſam dreht. Die Räder dürfen natürlich nicht ſo nah zuſammenſitzen, daß ſie die Bleiſtreifen quetſchen oder gar zerreißen. Die Zahnräder einer Wringmaſchine, die man in gleicher Weiſe benutzt, ſind vorher darauf zu prüfen, ob ſie dieſe Bedingung erfüllen. In den meiſten Fällen laſſen ſich die Wringmaſchinenwalzen in ihrer

Entfernung voneinander verſtellen, ſo daß man leicht den gewünſchten Zwiſchenraum der Zahnräder erreichen kann.

Die Größe der Zahnräder und ihrer Zähne iſt vorher ſorgfältig zu berechnen. Allzuweit darf die Gitterung nicht werden, denn dann hält ſie die hernach einzubringende Maſſe nur ſchlecht feſt. Es iſt alſo beſſer, wenn der Streifen viele kleine Wellen zeigt, als wenige große. Der Zwiſchenraum von einem geraden Streifen zum andern ſoll ungefähr 1 cm betragen. Dadurch iſt die Höhe der Wellen und die Größe der Zähne unſerer Zahnräder gegeben. Die Breite jeder einzelnen Welle können wir dagegen beliebig ändern, und je ſchmäler die Wellen ſind, deſto beſſer iſt es im allgemeinen. Allzuſchmal dürfen ſie natürlich nicht ſein, da man ſonſt Schwierigkeiten beim Einbringen der Maſſe hat.

Hat man eine genügende Anzahl gewellter Streifen hergeſtellt, ſo kann man mit dem Aufbau der einzelnen Platten beginnen. Wir legen dazu einen unſerer Rahmen auf einen flachen Stein, eine Schiefertafel oder eine Glasplatte und ſetzen zuerſt einen der gewellten und darunter einen der geraden Streifen ein. Iſt der gewellte Streifen zu lang, ſo ſchneiden wir den überflüſſigen Teil mit dem Meſſer weg. Dafür, daß er nicht zu kurz iſt, müſſen wir natürlich von vornherein ſorgen. Am beſten iſt es, zunächſt einen Probeſtreifen herzuſtellen und danach die Länge der andern zu wellenden Streifen zu beſtimmen. Liegen die beiden Streifen dann glatt im Rahmen und dicht aneinander, wie es Abb. 14 C erkennen läßt, ſo nehmen wir wieder unſeren Lötkolben zur Hand, erhitzen ihn, reiben ihn mit Salmiak blank, ſchmelzen zunächſt die Enden der beiden Streifen jederſeits am Rahmen feſt und verbinden dann noch den gewellten mit dem geraden Streifen, indem wir beide alle 2—3 cm miteinander verſchmelzen. Dabei müſſen wir ſehr vorſichtig ſein, da das dünne Blei bei einem zu heißen Kolben leicht durchſchmilzt, während ein zu kalter Kolben keine innige Verbindung herbeiführt. Auf die gleiche Weiſe befeſtigen wir die anderen gewellten und geraden Streifen, und zwar

immer abwechſelnd, bis der Rahmen völlig gefüllt iſt. Darauf nehmen wir auch die anderen Rahmen nacheinander vor.

Haben wir alle ſieben Rahmen mit der Gitterung verſehen, ſo legen wir drei für die poſitiven Platten beiſeite und nehmen zunächſt die vier Rahmen der negativen Platten vor. Dieſe Rahmen wollen wir jetzt mit der aktiven Maſſe füllen, wir wollen ſie, wie man ſagt, paſtieren. Dazu reinigen wir ſie zunächſt durch Abbürſten mit einer ſcharfen Bürſte und heißem Seifenwaſſer von allem anhaftendem Schmutz und Fett, ſtellen ſie 15 Minuten lang in verdünnte Salzſäure, ſpülen ſie erſt in heißem, dann in kaltem Waſſer ab und legen ſie ſchließlich zum Trocknen beiſeite. Dann gehen wir in eine Drogerie oder in ein Farbengeſchäft und kaufen dort etwa zwei Pfund chemiſch reine Bleiglätte (Bleioxyd, rötlichgelbes Pulver) und 100—200 ccm chemiſch reine Schwefelſäure*). Zu Hauſe ſchütten wir ein wenig Bleiglätte in einen irdenen Topf, verdünnen in einem andern irdenen Gefäß die Schwefelſäure mit der zehnfachen Menge deſtillierten Waſſers (Vorſicht! Die Säure in das Waſſer gießen, nicht umgekehrt! Vergl. die diesbezüglichen Angaben auf S. 22/23) und gießen die verdünnte Säure langſam zu der Bleiglätte, die wir gleichzeitig mit einem hölzernen Spachtel umrühren, bis ein ſteifer Brei entſtanden iſt. Jetzt hören wir mit dem Zugießen der Schwefelſäure auf, kneten den Brei mit dem Spachtel gut durch und tragen ihn dann vorſichtig in das erſte negative Gitter ein, das wir zu dieſem Zweck, gut mit 10%iger Schwefelſäure angefeuchtet, wagrecht auf eine Glasplatte legen.**) Die Schicht ſoll das Gitter

*) Die Materialien müſſen unbedingt chemiſch rein ſein; fremde Beimengungen würden den Sammler ſchnell zerſtören.

**) Man kann die Paſte auch mit den bloßen Händen kneten und in das Gitter einbringen. Man hat dann leichtere Arbeit und kann die Maſſe feſter eindrücken. Mit den bloßen Händen darf jedoch nur der arbeiten, der keine Verletzungen an den Fingern hat, und deſſen Haut nicht zu zart iſt, da die verdünnte Schwefelſäure ſonſt gefährliche Brandwunden herbeiführen kann. Hat man ſich ſolche Verletzungen zugezogen, ſo waſche man die Wunden ſorgfältig in Waſſer, das ſtark mit Salmiakgeiſt verſetzt worden iſt, aus und arbeite dann nicht mehr mit den bloßen Händen weiter. Man achte beim Kneten der Maſſe auch darauf, daß die Schwefelſäure nicht auf die Kleider ſpritzt. Geſchieht das

füllen und den Bleikern noch 1 mm hoch überragen. Ist die eine Seite fertig und schön geglättet, so wird die Platte vorsichtig in der Längsrichtung von der Glasunterlage abgezogen, umgedreht und auf der anderen Seite in der gleichen Weise bearbeitet. Unter keinen Umständen darf die pastierte Platte von der Unterlage einfach abgerissen werden; da sie daran klebt, wird sonst die Bleiglätte teilweise wieder aus dem Gitter herausgerissen. Der Bleioxydbrei trocknet, wenn er die richtige Beschaffenheit hat, ziemlich schnell ein; es empfiehlt sich daher, für jede Platte die nötige Breimenge frisch anzurühren. Niemals darf bereits eingetrocknete Masse mit frischer gemischt werden; die trockene Masse bindet dann schlecht und fällt über kurz oder lang aus dem Gitter heraus. Spürt man, daß der Brei beim Arbeiten zu schnell erhärtet, so fügt man ein wenig verdünnte Schwefelsäure hinzu und knetet nochmals gut durch. Die fertig pastierten Gitter müssen beiderseits ganz glatte Flächen zeigen.

Hat man auf diese Weise alle negativen Gitter pastiert, so kommen die positiven Platten an die Reihe, für die wir etwa $1^1/_2$ Pfund Mennige (dunkelrotes Pulver) brauchen. Wie vorher die Bleiglätte, so wird jetzt die Mennige mit verdünnter Schwefelsäure in einem irdenen Topf zu einem steifen Brei verrührt. Mit diesem Brei füllen wir die Maschen der drei positiven Gitter, bis auch sie ganz glatte Flächen zeigen.

Die positiven Platten sehen nach dem Pastieren dunkelrot aus; die negativen sind dunkelgelb. An diesen Farbentönen können wir sie also leicht unterscheiden.

Das Pastieren und die zugehörigen Arbeiten nimmt man am besten auf einem dick mit Zeitungen belegten Tische vor. Nach beendeter Arbeit werden die Zeitungen gleich verbrannt. Auf diese Weise vermeidet man eine Beschädigung der Tischplatte durch abtropfende Schwefelsäure und ebenso, daß Schwefelsäurereste oder Breikrumen nachträglich noch Schaden anrichten.

Die fertigen Platten werden jede für sich in ein Stück alter

---

doch einmal, so betupft man die betreffende Stelle reichlich mit Salmiakgeist und wäscht sogleich gut mit Wasser nach.

ſauberer Leinwand gepackt, die man vorher gut mit 10%iger Schwefelſäure tränkt. Die eingepackten Platten ſchichtet man aufeinander, beſchwert ſie zwiſchen 2 Holzbrettern mit etwa 20 kg und läßt ſie ſo gegen 12 Stunden liegen. Hernach müſſen die Platten noch gehärtet werden. Eine äußerſt wichtige Arbeit, die man unter gar keinen Umſtänden vernachläſſigen darf, weil man ſonſt riskiert, daß die Maſſe beim Füllen des fertigen Sammlers mit Schwefelſäure unter Kochen und Ziſchen aus dem Gitter herausfällt. Um das zu verhindern, geht man am beſten folgendermaßen vor: Man nimmt die eingepackten Platten aus der Preſſe, befeuchtet jede einzelne ausgiebig mit verdünnter Schwefelſäure, ſchichtet ſie wieder aufeinander und ſtellt ſie in der Preſſe an einen kühlen Ort, am beſten in den Keller, wo ſie keine Wärme erreichen kann, da Wärme die Maſſe zum Aufquellen bringt. Eine Stunde ſpäter wiederholt man das Durchfeuchten und läßt den Plattenſtapel dann die Nacht durch ſtehen. Am anderen Morgen werden die Platten aus der Preſſe genommen und gut mit verdünnter Schwefelſäure befeuchtet, worauf man die Leinwand entfernt und die Platten zum Trocknen beiſeite ſtellt. Künſtliche Wärme darf dabei aber nicht verwendet werden. Sind ſie trocken, ſo befeuchtet man ſie neuerdings mit Säure und ſchabt dann mit einer ſcharfkantigen Latte — am beſten einem Holzlineal — die über die Bleifläche emporragende Maſſeſchicht ab, bis der blanke Bleikern mit den paſtierten Löchern zum Vorſchein kommt. Zum Schluß werden die Platten nochmals beiderſeits tüchtig mit Schwefelſäure begoſſen, worauf man ſie neuerdings zum Trocknen beiſeite ſtellt.

Sind die Platten trocken, ſo ſind ſie gebrauchsfertig. Die Mennigeplatte, die nach dem erſten Trocknen noch intenſiv rot war, muß jetzt braun ſein, wenn die Maſſe in der Säure nicht herausfallen ſoll. Die Bleioxydplatten ſind gelb und ſehr feſt. Ich warne ausdrücklich davor, das Härten als etwas Überflüſſiges anzuſehen, weil die Platten ſchon nach dem erſten Trocknen ſcheinbar ganz feſt ſind. Den Verſuch, ſie ſo zu verwenden, würde man mit einem böſen Mißerfolg büßen. Man muß ſogar die

richtig gehärteten Platten vor dem Einbauen erſt ausprobieren, ob die Füllmaſſe feſt ſitzt. Dazu ſtellt man eine nach der anderen in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelſäure und läßt ſie ein paar Minuten darin ſtehen. Bei einer guten Platte dürfen höchſtens hier und da kleine Bröckelchen Maſſe herausfallen. Nur Platten, die dieſe Probe beſtanden haben, ſind zur Verwendung geeignet.

Da beſonders die Mennigeplatten ſehr ſorgſam behandelt werden müſſen, wenn ſie hart werden ſollen, während die Bleiglätte viel ſchneller feſt wird, hat man verſchiedentlich vorgeſchlagen, auch die poſitiven Platten mit Bleiglättebrei zu füllen. In dieſem Fall muß man den Sammler jedoch gut ein dutzendmal laden und entladen, ehe er ſeine volle Kapazität erreicht, weil dann die Bleiglätte in den poſitiven Platten erſt durch die Vorgänge beim Laden in Bleiſuperoxyd verwandelt werden muß.

Beim Einbau der Platten, der jetzt kommt, iſt darauf zu achten, daß immer eine poſitive Platte zwiſchen zwei negativen ſtehen muß, und daß ſämtliche Platten gut voneinander zu iſolieren ſind. Man legt zunächſt eine negative Platte flach auf einen Tiſch, ſo daß der Anſatz nach links ſchaut, nimmt dann drei Glasſtreifen von der Länge der Platten, 3 mm Dicke und etwa 1 cm Breite, die man vorher in einer Glashandlung hat ſchneiden laſſen, legt einen Streifen an die linke Kante, einen in die Mitte und einen ganz rechts, nimmt nun eine poſitive Platte und legt ſie mit dem Anſatz nach rechts feſt auf die Glasſtreifen. Auf dieſe poſitive Platte kommen dann wieder drei Glasſtreifen, darauf kommt die nächſte negative Platte mit dem Anſatz nach links, darauf abermals drei Glasſtreifen, dann die zweite poſitive Platte mit dem Anſatz nach rechts, und ſo fährt man fort, bis man alle ſieben Platten zuſammengeſtellt hat. Den ganzen Stapel umſchnürt man mit ſtarken Gummiſchnüren oder mit paraffiniertem Bindfaden zweimal übers Kreuz. Er muß ſchließlich ſo ausſehen, wie es Abb. 18 zeigt. Die drei poſitiven Anſätze ſchauen nach der rechten, die vier negativen nach der linken Seite; die einzelnen Platten ſind voneinander gut iſoliert. Hat man keine Glasſtreifen, ſo ſind Hartgummiſtreifen ent-

ſprechender Dicke ebenſogut verwendbar. Auch Glasröhren kann man benutzen, doch iſt dann das Aufeinanderlegen der Platten ſchwieriger, da die Röhren ſich leicht verſchieben. Vor der Verwendung von Zelluloid zur Iſolation iſt dagegen zu warnen, da Zelluloid auf die Dauer von der Schwefelſäure angegriffen wird.

Jetzt handelt es ſich darum, alle poſitiven Platten und alle negativen Platten miteinander zu verbinden. Wir beſorgen uns zu dieſem Zweck zwei Bleiſtreifen (Bleiſtege) von ſolcher

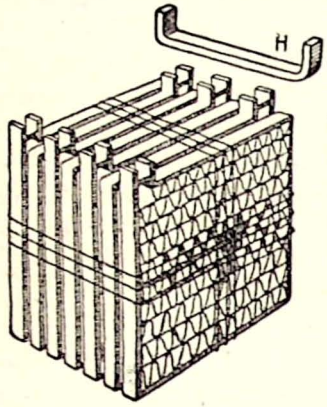


Abb. 18. Die ſieben Platten unſeres Akkumulators fertig zuſammengeſtellt zum Einſetzen der Verbindungsſtege (H).

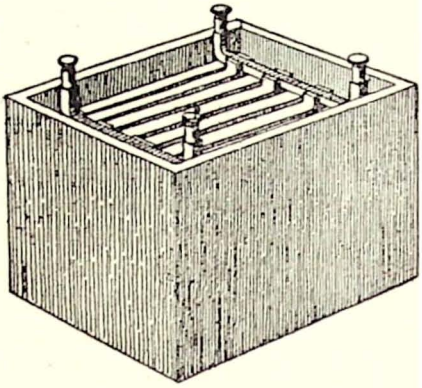


Abb. 19. Der fertige Akkumulator mit zwei Polklemmen an jedem Steg in ſeinem Behälter.

Breite, daß ſie gerade in die Anſätze hineinpaſſen. Die Dicke der Stege ſoll etwa 6—8 mm betragen. An beiden Enden werden ſie rechtwinklig aufgebogen (Abb. 14 D); ihre Länge wird ſo gewählt, daß ſie nach dem Einſetzen in die Anſätze auf beiden Seiten noch etwas vorſtehen. Das Einſetzen veranſchaulicht Abb. 18. Bei H ſehen wir den richtig gebogenen Steg, der in die drei Anſätze der darunter ſichtbaren poſitiven Platten eingefügt wird. Bei den negativen Platten verfährt man in gleicher Weiſe. Hat man die Streifen eingefügt, ſo wird jeder Plattenanſatz mit dem Streifen verſchmolzen. Bei den poſitiven Platten ſind alſo drei, bei den negativen vier

Vereinigungsſtellen vorhanden. Das Bleilöten iſt auf S. 43 erläutert worden. Die beiden zu vereinigenden Bleiſtücke werden einfach miteinander verſchmolzen. Das gelingt nur, wenn man die Vereinigungsſtellen blank feilt und einen gleichfalls blank gefeilten, ſchwach rotglühenden Lötkolben benützt, mit dem man unter leichtem Druck über die Fugen fährt. Selbſtverſtändlich muß die Lötſtelle dicht und feſt ſein. Iſt der Steg nur hier und da angeſchmolzen, ſo muß man nochmals darübergehen.

Die fertigen Lötſtellen überzieht man mit einer doppelten Schicht von Aſphaltlack, ſchneidet dann die ſenkrecht aufragenden Enden der Verbindungsſtege rund zu und ſchraubt hier ſogen. Akkumulatorenklemmen an, die man mit Öffnungen von 2—7 mm Durchmeſſer käuflich erhält. Bei unſerem fertigen Akkumulator, den Abb. 19 zeigt, ſind an jedem Verbindungsſteg zwei Klemmen befeſtigt. Das empfiehlt ſich, wenn man die Verbindung mit der Ladebatterie dauernd beſtehen laſſen will, denn dann kann man die Ladebatterie auf der einen Seite anſchließen, während die beiden Klemmen der anderen Seite die Entnahme des Entladeſtroms geſtatten. Im allgemeinen kommt man jedoch mit einer Klemme an jedem Verbindungsſteg aus. Die Klemmen überzieht man zweckmäßig mit Aſphaltlack, der nur die Löcher für die Anſchlußdrähte freilaſſen ſoll. Dieſer Überzug verhindert das Anfreſſen der Meſſingklemmen durch die Schwefelſäuredämpfe und die Säuretröpfchen, die bei der Ladung des Akkumulators durch die aufſteigenden Gaſe mitgeriſſen werden. Allzuſehr darf man aber auf die ſchützende Wirkung des Überzugs nicht vertrauen, denn es gibt immer Stellen, an denen die Säure angreifen kann, und man muß deshalb die Klemmen von Zeit zu Zeit nachſehen, reinigen und friſch lackieren.

Nachdem wir ſo die Platten für unſeren Akkumulator hergeſtellt haben, gilt es jetzt, den Behälter dafür zu beſorgen. Am beſten iſt es, wenn man glattwandige Glasgefäße nimmt. Dieſe Glaszellen muß man natürlich kaufen. Man bekommt ſie als Akkumulatorengläſer in den Geſchäften für elektrotechniſche Bedarfsartikel, die ja faſt in jeder Stadt zu finden ſind.

Für unſeren Akkumulator brauchen wir eine Glaszelle, die etwa 17—18 cm hoch, 11 cm lang und 10 cm breit iſt. Haben wir kleinere oder größere Platten gebaut, ſo müſſen wir natürlich auch kleinere oder größere Behälter verwenden. Die richtige Größe berechnet man aus der Höhe, Länge und Breite der Einzelplatte, der Geſamtzahl der verwendeten Platten und dem von der Iſolierung eingenommenen Raum. Der Behälter ſoll ſo tief ſein, daß die Säure die Platten ganz überdeckt.

Müſſen wir uns Glaszellen für unſere Akkumulatoren aus finanziellen Gründen verſagen, ſo iſt deshalb doch nichts verloren, denn ein gut gearbeiteter kiſtenartiger Behälter aus Kiefern- oder Tannenholz tut auch ganz gute Dienſte, wenn wir ihn durch einen dicken Anſtrich mit Aſphaltlack ſäurefrei und waſſerdicht machen.

Das verwendete Holz muß mindeſtens 2 cm ſtark ſein. Jedes Brett ſoll aus einem Stück beſtehen, beiderſeits glatt gehobelt und völlig frei von Äſten, weichen Stellen und Sprüngen ſein. Die Bretter müſſen an den Kanten ganz glatt und ohne ſichtbare Fugen aneinander ſtoßen. Sie werden durch Meſſingſchrauben miteinander verbunden. Bevor man ſie jedoch zuſammenfügt, ſind die Vereinigungsſtellen mehrmals ſorgfältig mit Aſphaltlack zu beſtreichen. Jeder Anſtrich muß trocknen, bevor der nächſte aufgebracht wird. Der letzte Anſtrich aber ſoll noch feucht ſein, wenn die Bretter zuſammengeſchraubt werden, damit die Verbindungsſtellen miteinander verkleben. Man fügt zuerſt die vier Seitenwände zuſammen und ſchraubt erſt zuletzt das Bodenbrett auf. Die Schrauben müſſen flache (nicht halbrunde) Köpfe haben. Sie werden in Abſtänden von 3 bis 4 cm eingeſetzt, ſehr feſt angezogen und ſo weit in das

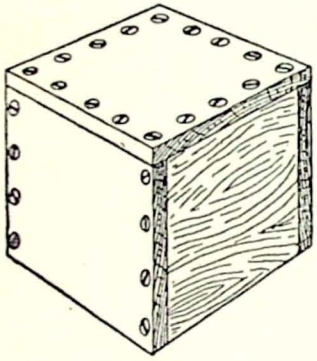


Abb. 20. Der Holzkaſten für unſere Akkumulatoren. Bodenanſicht. Zu beachten die verſenkten Schrauben.

Holz eingedreht, daß die Oberfläche der Schraubenköpfe mit der Holzfläche abſchneidet. Dazu muß man das Schraubenloch oben etwas erweitern, damit der Schraubenkopf Platz findet. Man nennt das: die Schrauben verſenken (Abb. 20). Iſt der Behälter ſo weit fertig, ſo wird er innen und außen mehrmals mit dickflüſſigem Aſphaltlack angeſtrichen, wobei man darauf achtet, daß keine Stelle freibleibt, da ſonſt die Säure ſofort Angriffspunkte findet, um das Holz zu zerſetzen. Jeder Anſtrich muß trocken ſein, bevor der nächſte aufgebracht wird. Die Vereinigungsſtellen der einzelnen Bretter ſind beſonders ſorgfältig zu behandeln, denn wenn hier Säure in eine Fuge eindringen kann, ſo ſind die Schrauben bald zerfreſſen, und der ganze Behälter fällt auseinander.

Iſt der letzte Anſtrich trocken, ſo füllen wir den Kaſten mit Waſſer und laſſen ihn ein paar Tage ſtehen. Iſt nirgendwo ein Tröpfchen ausgetreten, ſo iſt unſere Arbeit brauchbar; im andern Falle muß die undichte Stelle mit Aſphaltlack gedichtet werden.

Haben wir für unſern Akkumulator einen Glasbehälter verwendet, ſo iſt es zweckmäßig, die Zelle, um Beſchädigungen uſw. nach Möglichkeit vorzubeugen, in einen mit Sägemehl gefüllten Holzkaſten von der halben Höhe des Glaſes einzuſtellen. Beſitzt man mehrere Akkumulatoren, ſo wird man ſie natürlich in einen gemeinſamen Kaſten ſtellen. Mehr als drei der von uns beſchriebenen Sammler ſollte man aber nicht vereinigen, da das Gewicht der Batterie ſonſt zu groß wird. Anders liegt die Sache natürlich, wenn man ſeine Batterie an einem beſtimmten Platze dauernd ſtehen laſſen kann, denn dann kann man beliebig viele Zellen zuſammenſtellen. In dieſem Fall braucht man allerdings die beſprochene Vorſichtsmaßregel meiſt gar nicht anzuwenden, da die Gläſer dann auf einem feſten Geſtell (Filzunterlagen verwenden!) ebenſo ſicher ſtehen, wenn man ſie nicht gerade mit dem Ellenbogen herunterbefördert.

Iſt die Behälterfrage glücklich gelöſt, ſo kommt das Problem der Akkumulatorenſäure an die Reihe, das wiederum wohl über-

legt und klug angefaßt ſein will. Verwendet wird verdünnte Schwefelſäure, doch iſt es durchaus nicht gleichgültig, wie ſtark die Verdünnung und wie die Säure beſchaffen iſt. Sie muß chemiſch rein, d. h. völlig frei von Verunreinigungen ſein, und die Verdünnung darf nur mit deſtilliertem Waſſer erfolgen. Schon ganz geringfügige Beimengungen fremder Stoffe (Säuren, Metalle) ſchaden dem Akkumulator ſehr, weil ſie zerſtörend auf die Bleikerne der Platten wirken. Chemiſch reine Schwefelſäure und deſtilliertes Waſſer liefert uns jede Apotheke, wenn ſich nicht ein Spezialgeſchäft für Elektrotechnik in unſerer Stadt befindet, durch das wir dann meiſtens gleich fertige „Akkumulatorenſäure“ in der richtigen Verdünnung beziehen können. Ein Blick ins Adreßbuch und eine Anfrage durch Fernſprecher oder Poſtkarte wird uns darüber ſchnell Auskunft verſchaffen.

Iſt die Säure aber nicht fertig zu kaufen, ſo müſſen wir die richtige Verdünnung ſelber herſtellen. Man berechnet ſie nach Beaumégraden, zu deren Beſtimmung man beſondere Aräometer für Akkumulatorenmeſſungen (Abb. 21) benützt. Das Inſtrument wird in die Säure eingetaucht, die man in ein irdenes Gefäß gebracht hat; dann gießt man ſo lange deſtilliertes Waſſer zu (Vorſicht! Vergl. die Ausführungen auf Seite 22/23), bis das Meßinſtrument bis zum Teilſtrich 20 eingeſunken iſt. Der Säuregehalt der verdünnten Schwefelſäure beträgt dann 20 Beaumégrade. So ſehr genau braucht man ſich an dieſe Zahl allerdings nicht zu halten, denn die Angaben der richtigen Konzentration ſchwanken von 18—22 Grad, entſprechend einem ſpezifiſchen Gewicht der verdünnten Säure von 1,12 bis 1,20. Man ſieht daraus, daß bei der Verdünnung ein gewiſſer Spielraum gegeben iſt, doch iſt eine Säure von 20 Beaumégraden als Normalſäure aufzufaſſen. Will man die Anſchaffung eines Aräometers vermeiden, ſo kann man ſchließlich die Verdünnung auch nach Gewichtsteilen beſtimmen. Die nachſtehende, der Heberſchen „Elektro-Auskunftei“ entnommene Tabelle gibt die nötigen Anhaltspunkte dazu.

Beaumégrade	Spezifiſches Gewicht	100 Gewichtsteile deſtill. Waſſer enthalten wieviel Gewichtsteile Schwefelſäure?	1 Liter deſtilliertes Waſſer enthält wieviel Gramm Schwefelſäure?
16	1,12	17,3	195
18	1,14	19,6	224
20	1,16	22,1	258
22	1,18	24,5	289
24	1,20	27,1	325

Es könnte danach faſt ſcheinen, als ob die Anwendung des Aräometers zur Beſtimmung des Säuregehalts eine recht zweckloſe Sache ſei. Daß dem jedoch nicht ſo iſt, wird uns klar werden, wenn wir hören, daß ſich beim Akkumulatorenbetrieb im Laufe der Zeit die Dichte der Säure ändert, weil Waſſer verdunſtet, kleine Säureteilchen mitgeriſſen werden uſw. Es iſt alſo von Zeit zu Zeit nötig, die Dichte zu kontrollieren und entweder Waſſer oder Säure nachzufüllen. In ſolchen Fällen leiſtet uns das Aräometer unſchätzbare Dienſte, weil es ſehr umſtändlich iſt, den Säuregehalt auf anderem Wege zu berechnen. Wir brauchen das Aräometer nur in den Elektrolyten der Zelle einzutauchen und abzuleſen, welche Konzentration die Säure hat, um ſofort zu wiſſen, ob wir Waſſer oder Schwefelſäure hinzuzufügen haben. Iſt ein Säurezuſatz nötig, ſo verwendet man ſtets bereits verdünnte Akkumulatorenſäure, nie konzentrierte Säure, die die Platten angreift. Wir können uns dabei merken, daß die Säure am beſten vor Beginn einer Ladung zugeſetzt wird, da dann die aufſteigenden Gasblaſen eine Vermiſchung bewirken. Iſt der Akkumulator entladen, ſo iſt die Säuredichte ſtets etwas geringer als nach beendeter Ladung (ſpez. Gewicht der Säure entladen etwa 1,14, geladen bis zu 1,20). Geringe Säuredichte ſchadet der Zelle übrigens nicht, wohl aber zu hohe, die daher ſorgfältig zu vermeiden iſt.

Abb. 21. Aräometer zur Meſſung der Verdünnung von Schwefelſäure.

Die Verdünnung der Säure ſoll in einem irdenen Topf und unter Beachtung der auf S. 22 angegebenen Vorſichtsmaßregeln erfolgen. Erſt wenn die verdünnte Säure vollſtändig erkaltet iſt, darf ſie in die Zellen eingefüllt werden. Sie ſoll nach der Füllung die oberen Plattenkanten um mindeſtens 1 cm überragen, und es darf nie vorkommen, daß der obere Teil der Platten etwa aus der Säure hervorſchaut. Die Polklemmen ſind ſorgfältig vor der Berührung mit Säure zu ſchützen; Spritzer uſw. ſind ſtets ſofort abzuwiſchen.

Beim Einſetzen unſeres Plattenſtapels in den Behälter haben wir darauf zu achten, daß die Platten nicht unmittelbar auf dem Boden ſtehen dürfen, da ſich ſonſt durch ausbröckelnde und herabfallende Stücke der Maſſe leicht Kurzſchluß bilden kann. Wir bringen daher auf dem Boden unſeres Holzkaſtens zwei vierkantige, gut mit Aſphaltlack geſtrichene Holzſtäbe von etwa 2—3 cm Höhe und 1 cm Breite ſo weit voneinander entfernt an, daß der Plattenſtapel ſie an den beiden Enden um etwa 2 cm überragt. Bei Glasbehältern verwenden wir paſſende Stücke dicker Glasrohre, Streifen aus dickem Tafelglas oder Hartgummiſtäbe; die Hauptſache iſt, daß die Platten ſicher und ziemlich hoch über dem Boden ſtehen, dabei aber natürlich gut iſoliert bleiben.

Deckel ſind für Akkumulatoren, die an einer beſtimmten Stelle ſtehen bleiben ſollen (ſtationäre Batterien), im allgemeinen nicht nötig. Will man ſeine Zellen dennoch bedecken, etwa um das Emporreißen und Umherſpritzen von Säuretröpfchen bei der Ladung zu verhindern, ſo kann man Hartgummiſcheiben, die aber teuer ſind, oder nicht zu dünne Pappdeckelſtücke, die man entſprechend zurechtſchneidet, verwenden. Die Pappdeckelſtücke müſſen vor der Benutzung erſt längere Zeit in einem Gemiſch von Paraffin und Kolophonium gekocht und damit vollſtändig durchtränkt werden. Für die Klemmſchrauben, die außerhalb des Deckels bleiben ſollen, werden Löcher in den Deckel geſchnitten, die man ſo eng macht, daß der Deckel auf den ja etwas dickeren Enden der Stege ein Auflager findet und ſo über der Säure-

oberfläche bleibt. Außer den Löchern für die Klemmſchrauben muß noch ein rundes Loch in die Mitte des Deckels geſchnitten werden, das als Ventil für die beim Laden und Entladen des Akkumulators entſtehenden Gaſe, zum Nachfüllen von Säure, zur Entleerung der Zelle uſw. dient. Dieſes Loch verſchließt man gewöhnlich durch einen mit einer Durchbohrung verſehenen Gummiſtöpſel.

Sind alle dieſe Arbeiten erledigt, iſt der Plattenſtapel in den Behälter geſtellt und die Säure eingegoſſen, ſo kann es an die erſte Ladung gehen, die die „Formierung" der Platten bewirkt. Wir bleiben auch diesmal unſerem Grundſatz treu, keinen Starkſtrom zu verwenden, obwohl eine Gleichſtrom führende Lichtleitung zum Laden von Akkumulatoren geradezu verlockende Gelegenheit bietet, denn auch dabei ſind Unfälle nicht unmöglich. Wollen wir aber unter allen Umſtänden Starkſtrom zur Ladung benützen, ſo wenden wir uns am beſten an ein elektrotechniſches Geſchäft unſerer Stadt, das uns die nötige kleine Anlage unter Verwendung eines Vorſchaltwiderſtands aus Kohlenfadenlampen oder noch beſſer als Abzweigung von einer Gebrauchslampe (wir können dann allerdings nur laden, ſolange dieſe Lampe brennt, haben aber dafür faſt keine Stromkoſten) gerne einrichten wird und uns dann auch ſagt, wie ſie zu handhaben iſt. Hier beſchränken wir uns auf die Beſprechung der Ladung mit Primärelementen, die für uns am zweckmäßigſten iſt.

In der Regel wird für dieſen Zweck das Bunſenelement empfohlen. Das iſt früher auch an dieſer Stelle geſchehen. Inzwiſchen konnte ich feſtſtellen, daß das Daniell-Element (S. 25/28) weitaus vorzuziehen iſt. Beim Bunſen-Element fallen zunächſt die geſundheitsſchädlichen Dämpfe ſchwer ins Gewicht; ſodann iſt es auf die Dauer ſehr läſtig, die Elemente immer auseinanderzunehmen und wieder zuſammenzuſetzen. Das Daniell-Element liefert bei richtiger Behandlung (Kupfervitriol nachfüllen!) auch bei tagelangem Gebrauch einen zwar ſchwachen, aber ganz konſtanten Strom, wie er für Ladezwecke notwendig iſt.

Die erſte Frage iſt nun natürlich: Wieviel Ladeelemente brauchen wir? Um Antwort geben zu können, müſſen wir die Ladeſtromſtärke kennen, die für unſeren Sammler erforderlich iſt. Die richtige Ladeſtromſtärke, die ſogen. Stromdichte, läßt ſich für jeden beliebigen Akkumulator auf folgende Weiſe berechnen. Die normale Ladeſtromſtärke beträgt für jeden Quadratdezimeter poſitiver Plattenoberfläche 0,5 Ampere. Es iſt alſo die Zahl der poſitiven Platten mit der Fläche einer einzelnen Platte (jede Seite wird berechnet) zu multiplizieren, und die Geſamtzahl wieder mit 0,5 zu vervielfältigen, um die richtige Stromſtärke zu erhalten. Wenden wir dieſe Angaben auf unſeren Akkumulator an, ſo ergibt ſich, da wir drei poſitive Platten von 10×14 cm Größe, alſo $140 + 140 = 280$ cm² $= 2{,}80$ dm² Flächeninhalt (beide Seiten gerechnet) haben, daß die Ladeſtromſtärke

$$3 \times 2{,}8 \times 0{,}5 = 4{,}2 \text{ Ampere}$$

beträgt. Die theoretiſch errechnete Zahl ſetzt man in der Praxis zweckmäßig jedoch etwas herunter, weil es die Lebensdauer der Zellen günſtig beeinflußt, wenn man mit geringerer Stromſtärke längere Zeit ladet. So können wir alſo 3,5 Amp. als günſtigſte Ladeſtromſtärke für unſere Akkumulatoren bezeichnen, während die höchſte Entladeſtromſtärke noch etwas geringer, etwa mit 3 Amp., anzuſetzen iſt. Dieſe Entladeſtromſtärke *kann* man anwenden, braucht es aber natürlich nicht. Man kann ebenſogut Strom von 2, 1, 0,5 Amp. oder noch geringerer Stärke entnehmen, nur höher hinauf als 3 Amp. dürfen wir bei der Entladung nicht gehen, und ebenſo iſt eine Ladung mit höherer Stromſtärke als angegeben ſchädlich, weil in beiden Fällen durch übermäßige Gasabſcheidung die aktive Maſſe in den Gittern ſo ſtark gelockert wird, daß ſie herausfällt; das aber gibt unter Umſtänden zu Kurzſchlüſſen Veranlaſſung, die die Akkumulatoren frühzeitig zerſtören.

Haben wir feſtgeſtellt, welche Ladeſtromſtärke unſer Sammler verlangt, ſo müſſen wir noch die Ladeſpannung kennen. Die Normalſpannung eines Akkumulators beträgt, wie wir wiſſen, 2 Volt. Gleich nach beendeter Ladung aber hat jeder

Sammler eine Überſpannung von 0,5—0,7 Volt (alſo eine Geſamtſpannung von 2,5—2,7 Volt), die er jedoch bei der Entladung in den erſten Augenblicken wieder verliert, um dann die Normalſpannung faſt für die ganze Dauer der Entladung beizubehalten. Erſt wenn die Entladung faſt beendet iſt, ſinkt die Spannung auf 1,85 Volt herab. Wir müſſen alſo bei der Ladung damit rechnen, daß die Spannung des zu ladenden Akkumulators von 1,85 Volt beim Beginn der Ladung langſam auf 2,7 Volt gegen ihr Ende anſteigt, und müſſen die Gegenſpannung der Ladebatterie entweder im gleichen Maße allmählich ſteigern oder von vornherein größer machen als 2,7 Volt. Der letztere Weg iſt der für uns einfachere, und ihn wollen wir alſo beſchreiten.

Wieviel Daniell-Elemente müſſen wir nun zur Ladung verwenden, um Spannung und Stromſtärke auf die richtige Höhe zu bringen? Jedes friſch angeſetzte, nach der auf S. 25 ff. gegebenen Anleitung gebaute Daniell-Element liefert ohne Rückſicht auf ſeine Größe eine auch bei tagelanger Beanſpruchung konſtante Spannung von 0,98 Volt. Die Stromſtärke hängt von der Größe der wirkſamen, d. h. vom Elektrolyten bedeckten Elektrodenfläche ab. Auf 1 dm^2 Plattenfläche kann man rund 1,5 Ampere rechnen, ſo daß alſo die auf S. 25 f. beſchriebene Elementgröße bei 3 dm^2 Plattenfläche etwa 4,5 Ampere liefert.

Aus dieſen Angaben folgt, daß wir drei Daniell-Elemente hintereinanderſchalten (ſiehe S. 20 ff.) müſſen, um eine ausreichende Ladeſpannung zu erhalten; jedoch iſt die Stromſtärke für unſeren Akkumulator — wenn wir die beſchriebene Elementgröße nehmen — zu hoch. Wir können ſie durch Einſchaltung eines Widerſtandes (Eiſendrahtſpirale uſw.) auf die richtige Höhe herabmindern, doch würden wir dadurch die teure Energie nutzlos vergeuden. Haben wir alſo nur einen Akkumulator zu laden, ſo bauen wir uns zweckmäßig einige kleinere Daniell-Elemente, die nur 3,5 Ampere liefern. Wahrſcheinlich aber werden wir doch mehrere Sammler beſitzen, und dann können wir auch die ſtärkeren Daniell-Elemente voll aus-

nutzen, indem wir zwei Zellen auf einmal laden. Das geschieht dadurch, daß man die beiden negativen Pole der beiden Akkumulatoren mit dem negativen Pol der hintereinandergeschalteten Daniell-Elemente verbindet, während man die beiden positiven Pole der beiden Sammler an den positiven Pol der Ladebatterie legt (Abb. 22).*) Die beiden Sammler sind dann nebeneinandergeschaltet. Jeder wird also unabhängig vom andern geladen, und auf jeden wirkt die ganze Ladespannung von rund 3 Volt, aber nur die halbe Stromstärke (2,25 Ampere) der

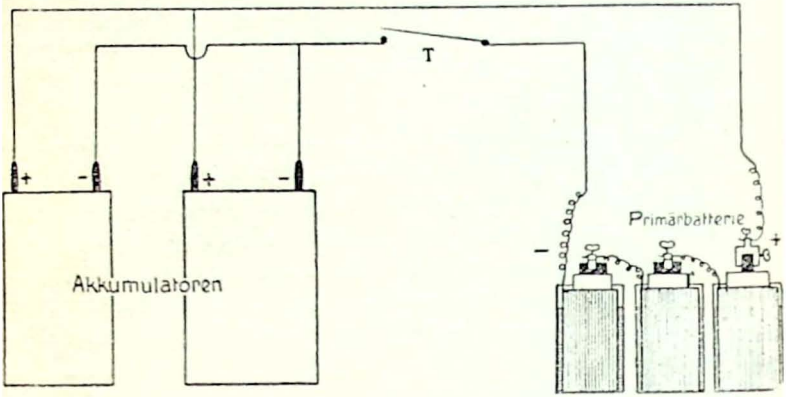


Abb. 22. Schema einer einfachen Ladeanlage für Akkumulatoren. Die Ladung erfolgt durch die rechtsstehende Primärbatterie. Eingebaut ist ein Kurbelschalter T.

Ladebatterie. Die Ladung dauert dann zwar etwas länger als bei 3,5 Ampere, doch dadurch wird die Haltbarkeit der Zellen nur erhöht.

Hat man mehr als zwei Akkumulatoren zu laden, so muß die Ladebatterie vergrößert werden, und zwar kann man entweder Daniell-Elemente höherer Stromstärke benutzen oder für die Ladebatterie eine gemischte Schaltung verwenden, die man bei einem Elektrotechniker erfragt. Zu beachten ist nur, daß

*) Bei der Ladung von Akkumulatoren ist streng darauf zu achten, daß stets die gleichnamigen Pole des Sammlers und der Ladebatterie miteinander verbunden werden. Der +-Pol des Akkumulators wird also stets auf den +-Pol der Ladebatterie, der —-Pol des Akkumulators auf den —-Pol der Ladebatterie geschaltet. Falscher Anschluß führt schnell eine Zerstörung der Platten herbei.

die Ladeſpannung der Primärelemente ſtets höher ſein muß als die Spannung der Akkumulatoren, weil ſonſt der Strom aus den Sammlern in die Ladebatterie fließt, alſo eine Entladung ſtatt einer Ladung eintritt. Dieſer Fall kann beſonders dann vorkommen, wenn das Kupfervitriol in den Daniell-Elementen verbraucht iſt. Will man alſo größere Akkumulatoren mit kleinen Daniell-Elementen laden, ſo muß man gut darauf achten, daß ſtets ungelöſte Kupfervitriolkriſtalle auf dem Boden der Tonzelle liegen. Man kann die Ladung beenden, wenn eine Überſpannung von etwa 0,1 Volt erreicht iſt, wenn die Zellen alſo eine Spannung von 2,1 Volt haben. Und es iſt unnötig, die Ladebatterie dann nochmals friſch zu beſchicken, um die Überſpannung bis auf 2,5 oder 2,7 Volt zu erhöhen.

Wie ſtellt man aber feſt, ob die richtige Spannung erreicht und ob alſo die Ladung beendet iſt? Am einfachſten iſt die Verwendung eines Spannungsmeſſers, den man zwiſchen die Pole des Sammlers ſchaltet und der die erreichte Spannung ſofort abzuleſen geſtattet. Die Selbſtanfertigung ſolcher Meßinſtrumente iſt im 7. Kapitel beſchrieben. Es gibt aber auch noch ein einfacheres Mittel, das uns über die beendete Ladung ziemlich ſicher unterrichtet. Gleich nach dem Einſchalten des Ladeſtroms treten an den Platten des Sammlers winzige Glasbläschen auf, die ſich langſam loslöſen, um durch die Säure aufzuſteigen.*) Je länger die Ladung dauert, deſto ſtärker wird dieſe Gasabſonderung, und ſchließlich iſt ſie ſo ſtark, daß die Säure dadurch faſt ſchaumig erſcheint. Man hört dann ein leichtes Brodeln in den Sammlern und ſagt deshalb: Der Akkumulator kocht. Dieſe Erſcheinung iſt ein ſicheres Zeichen dafür, daß die Ladung beendet iſt, denn ſie rührt davon her, daß die aktive Maſſe der Platten kein Gas mehr aufzunehmen vermag, weil die Umbildung (ſ. S. 41 f.)

*) Dieſe Gasabſonderung bietet auch ein Mittel, um feſtzuſtellen, ob die Ladeſtromſtärke zu hoch oder zu gering iſt. Sie iſt zu hoch, wenn gleich nach der Einſchaltung des Ladeſtroms zahlreiche große Gasblaſen auftreten. In dieſem Falle muß in die Verbindungsleitung zur Ladebatterie ein Widerſtand eingeſchaltet werden. Bleiben die Gasbläschen dagegen ganz aus, ſo iſt die Ladeſtromſtärke zu gering.

beendet iſt. Bei durch Deckel oder Vergußmaſſe verſchloſſenen Akkumulatoren ſind während des Ladens die Ventilſtöpſel zu entfernen, damit die entweichenden Gaſe frei austreten können.

Es kann gelegentlich vorkommen, daß die Spannung der Ladebatterie aus irgendeinem Grunde unter die Spannung der zu ladenden Sammler ſinkt. Natürlich dreht ſich dann der Strom um, d. h. die Sammler *entladen* ſich in die Ladebatterie. Um in ſolchen Fällen den Stromkreis gleich unterbrechen und den Fehler in der Ladebatterie beſeitigen zu können, ſollte man auf alle Fälle einen kleinen *Stromrichtungszeiger* einſchalten, der dauernd anzeigt, ob der Strom in die Akkumulatoren geht oder nicht. Der Stromrichtungszeiger iſt eine in einer Drahtſpule frei ſchwingende Magnetnadel, die aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird, wenn ein Strom die Drahtſpule durchfließt, und zwar je nach der Richtung des Stromes im Sinne des Uhrzeigers oder anders herum. Nähere Angaben darüber enthält die Einleitung zum 6. Kapitel. Das dort beſchriebene, in Abb. 65 wiedergegebene Inſtrument iſt als Stromrichtungszeiger gut geeignet. Nur empfiehlt es ſich, zur Verminderung des Stromverbrauchs die Drahtſpule aus 1 bis 1,5 mm ſtarken Draht zu wickeln; 10 bis 12 Windungen genügen durchaus. Der Stromrichtungszeiger wird ſo in den Stromkreis geſchaltet, daß der ganze Ladeſtrom die Wicklung durchfließt und ſo angeordnet, daß die Nadel bei offenem Stromkreis parallel zu den Windungen liegt (vergl. Abb. 64). Sobald man den Ladeſtrom ſchließt, wird die Nadel abgelenkt, und zwar um einen beſtimmten Betrag und mit dem (entſprechend bezeichneten) Nordpol nach einer beſtimmten Seite. Dieſen „Normalausſchlag" bei richtigem Verlauf des Ladeſtroms zeichnet man auf einer unter der Nadel befeſtigten Kreisteilung an, etwa indem man vor die Spitze des Nordpols den Buchſtaben L (= Ladung) ſetzt. Wird der Ladeſtrom ſchwächer, ſo geht der Ausſchlag zurück. Kehrt die Stromrichtung ſich aber gar um, ſo weiſt der Nordpol nach der entgegengeſetzten Seite. Über alle dieſe Verhältniſſe gibt ein Blick auf den Stromrichtungszeiger ohne weiteres Aufſchluß.

Zuweilen kommt es beim Laden vor, daß eine Zelle gegen die andern zurückbleibt, daß also keine Gasentwicklung erfolgt, wenn die Nachbarn schon lange „kochen". Eine solche Zelle leidet in den meisten Fällen an Kurzschluß, der dadurch entstehen kann, daß eine Platte sich krümmt, daß ein Fremdkörper zwischen die Platten gerät oder daß aktive Masse herausfällt und sich zwischen den Platten festsetzt. Der Ladestrom nimmt dann seinen Weg direkt durch die sich berührenden Platten, und nur ein Bruchteil des Stromes übt elektrochemische Wirkungen aus. Wird der Ladestrom abgeschaltet, so entladet sich die Zelle in sich selbst, weil die Ursache des Kurzschlusses die Platten leitend verbindet. Eine solche Zelle wird sehr bald zerstört. Man muß deshalb sorgfältig darauf achten, daß Kurzschlüsse nicht vorkommen und daß alle Ursachen dazu beseitigt werden. Meistens kann man durch Hineinblicken in die Zelle von oben her (bei Holzbehältern) oder von der Seite (bei Gläsern) die Ursache feststellen. Findet man sie dadurch nicht, so nimmt man einen kleinen Kompaß zu Hilfe, den man nacheinander zwischen zwei benachbarte Platten legt. Kommt man an ein Plattenpaar, das Kurzschluß hat, so wird die Nadel abgelenkt, weil der Kurzschlußstrom ein magnetisches Feld erzeugt. Die Pole des betreffenden Sammlers dürfen natürlich bei dieser Untersuchung nicht miteinander verbunden sein, da sonst der Hauptstrom die Nadel ablenkt.

Nach beendeter Ladung sind die positiven Platten dunkelrotbraun, die negativen dunkelgrau gefärbt, weil sich die Mennige der +-Platten in Bleisuperoxyd, die Bleiglätte der —-Platten in Bleischwamm umgewandelt hat (vgl. S. 40). Der aufgespeicherte Strom kann beliebig wieder entnommen und verwendet werden. Über die höchste zulässige Entladestromstärke für die von uns gebauten Zellen wurde bereits auf Seite 58 berichtet. Hier ist noch nachzutragen, daß unser Sammler eine Kapazität von etwa 45 Ampereſtunden besitzt.*)

*) Diese Kapazität erreicht der Sammler allerdings erst nach 5—6-maliger Ladung und Entladung, da die Platten erst dann durchformiert sind.

Wir können ihm alſo nach den auf S. 39 über den Begriff „Kapazität“ gegebenen Erläuterungen 15 Stunden lang 3 Amp. oder 45 Stunden lang 1 Amp. oder 90 Stunden lang 0,5 Amp. entnehmen uſw., eine recht beträchtliche Leiſtung, die uns inſtand ſetzt, alle Verſuche auszuführen, die für uns überhaupt in Frage kommen. Die Maximal-Entladeſtromſtärke von 3 Ampere darf man, wenn man den Sammler nicht beſchädigen will, nur auf kurze Zeit überſchreiten. Für einige Minuten kann man den Sammler ſelbſt 30 bis 40 Ampere entnehmen, ohne daß er darunter leidet.

3. Die Selbſtanfertigung tragbarer Akkumulatoren.

Bauen wir den vorſtehend beſchriebenen Akkumulator ſtatt mit 7 nur mit 5 (3 negativen und 2 poſitiven) oder 3 (2 negativen und 1 poſitive) Platten, ſo tritt ohne weiteres eine Verringerung der Kapazität ein, die ja nach den Ausführungen auf S. 39 in erſter Linie von der wirkſamen Plattenfläche abhängt. Eine Verringerung der Plattenfläche erreichen wir aber auch durch Verkleinerung der Platten, während umgekehrt bei einer Vergrößerung der Platten oder ihrer Anzahl die Kapazität des Sammlers wächſt. Die geeignete Kombination dieſer beiden Mittel — Verkleinerung bzw. Vergrößerung der Platten, Verringerung bzw. Vermehrung ihrer Zahl — geſtattet uns alſo, Sammler jeder beliebigen Kapazität zu erſtellen. Für ganz kleine Zellen iſt die beſchriebene Bauart indeſſen nicht ſehr günſtig, da bei kleinen Platten das Zuſammenlöten der Gitter bei der erforderlichen Verringerung der Blechſtärke eine recht umſtändliche und auch ſchwierige Arbeit iſt. Kleine Zellen ſtellen aber andererſeits ein recht willkommenes Hilfsmittel für mancherlei Verſuche dar, vor allem in ſolchen Fällen, wo hohe Spannungen bei nur geringer Stromſtärke erforderlich ſind. Ich gebe daher nachſtehend noch Anleitung zum Bau kleiner Akkumulatoren von 3,5 Ampereſtunden Kapazität, und zwar nach einer von Herrn cand. ing. Müller in Brünn praktiſch erprobten Anweiſung, die mir der Verfaſſer zur Verfügung ſtellte.

Die Zelle beſteht nach Abb. 23 aus einem rechteckigen Glas-

gefäß (das man aus einem Geſchäft für elektrotechniſche Bedarfsartikel bezieht), 3 Bleiplatten (P_1, P_2, P_3), 2 Klemmſchrauben, dem Deckel und dem Füllrohr.

1. Das Glasgefäß muß folgende Lichtmaße (Innenmaße) aufweiſen:

Länge L = 6,5 bis 7 cm,
Breite B = 3,8 bis 4 cm,
Höhe H = 11 bis 13 cm.

Die Dicke der Glaswände ſpielt keine Rolle.

2. Zur Erſtellung der Bleiplatten, die gegoſſen werden ſollen, brauchen wir $^1/_2$ kg Werkblei, das wir vom Spengler, aus einer Metallhandlung oder von einem Althändler beziehen, wenn wir nicht ſelbſt ein Stück altes Bleirohr oder andere Bleiabfälle in Händen haben.

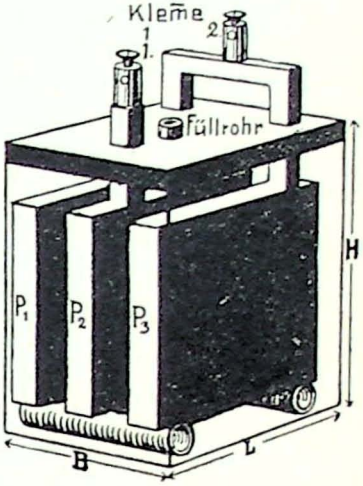


Abb. 23. Anſicht des ſelbſtangefertigten Akkumulators von 3,5 Ampereſtunden.

3. Zum Schmelzen des Bleies iſt ein kleiner Schmelztiegel von etwa 500 cm³ Inhalt nötig, den wir in jeder größeren Drogerie oder Chemikalien-Handlung bekommen, vielleicht aber auch bei unſrem Spengler entleihen können.

4. Der Plattenguß erfordert eine Form, für die wir 1 kg Zement und ein wenig fein gepulverten Graphit benötigen.

5. Das Füllröhrchen iſt bei 1,5 cm Außendurchmeſſer etwa 2 cm lang.

6. Der Deckel beſteht aus in einem in Paraffin und Kolophonium gekochten Kartonſtück, das hernach mit einer Miſchung von Schuſterpech, Paraffin und Kolophonium vergoſſen wird.

7. Zur Bereitung der Paſte brauchen wir 200 g chemiſch-reine Bleiglätte und 120—150 g Mennige.

8. Die Säure wird nach den Angaben auf S. 54 hergeſtellt.

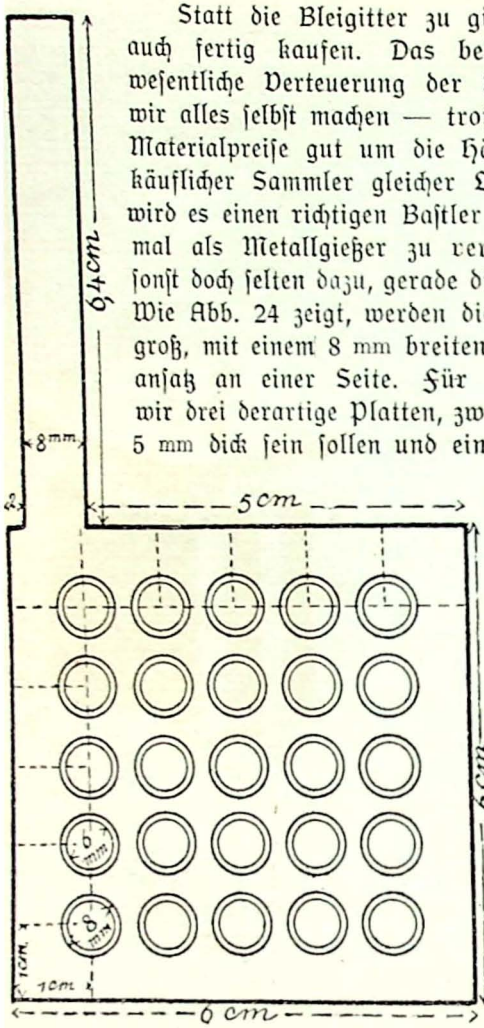


Abb. 24. Eine Platte unſeres Sammlers.

Statt die Bleigitter zu gießen, kann man ſie auch fertig kaufen. Das bedeutet indeſſen eine weſentliche Verteuerung der Zelle, die — wenn wir alles ſelbſt machen — trotz der heutigen hohen Materialpreiſe gut um die Hälfte billiger als ein käuflicher Sammler gleicher Leiſtung iſt. Übrigens wird es einen richtigen Baſtler auch locken, ſich einmal als Metallgießer zu verſuchen, kommt man ſonſt doch ſelten dazu, gerade dieſe Kunſt zu pflegen. Wie Abb. 24 zeigt, werden die Bleiplatten 6×6 cm groß, mit einem 8 mm breiten, 6,4 cm langen Polanſatz an einer Seite. Für jede Zelle benötigen wir drei derartige Platten, zwei negative, die 4 bis 5 mm dick ſein ſollen und eine poſitive von 6 mm Dicke. Daß die poſitive Platte dicker iſt, hat ſeinen guten Grund. Der Mennigbrei, der in die Löcher der poſitiven Platte eingeſtrichen wird, neigt nämlich viel mehr zum Herausfallen als die Bleioxydpaſte der negativen Platten. Um dieſer Neigung entgegenzuarbeiten, ſucht man die Haftfläche der poſitiven Platte auf die angegebene Weiſe zu vergrößern. Daß man dadurch zugleich eine Steigerung der wirkſamen Fläche erreicht, iſt eine angenehme Beigabe. Daß eine poſitive Platte immer zwiſchen zwei negativen ſtehen ſoll, weil ſie ſich ſonſt

leicht verzieht („wirft"), wurde ſchon früher erwähnt. Dadurch findet die Zweizahl der Minusplatten ihre Erklärung.

Um die Platten gießen zu können, brauchen wir eine Form, und zu deren Herſtellung wieder ein Modell der Platte, das wir mit der Laubſäge genau nach dem Muſter der Abb. 24 aus einem Brettchen paſſender Stärke herausſägen. Natürlich müſſen wir für die poſitive Platte ein dickeres Brettchen nehmen, ſo daß wir zwei verſchiedene Modelle und ſpäter zwei Formen erhalten. Die runden Löcher, die Abb. 24 zeigt, werden nicht ausgeſägt; es iſt einfacher, ſie ſpäter in die fertige Platte zu bohren. Zu beachten iſt, daß das Holzmodell in allen Richtungen etwa 0,5 mm größer ſein muß als die fertige Platte, weil ſich gegoſſenes Metall beim Erkalten zuſammenzieht (es ſchwindet, ſagt der Fachmann). Gibt man dem Modell genau die Dimenſionen, die die fertige Platte nach Abb. 24 haben ſoll, ſo liefert der Guß eine zu kleine Platte.

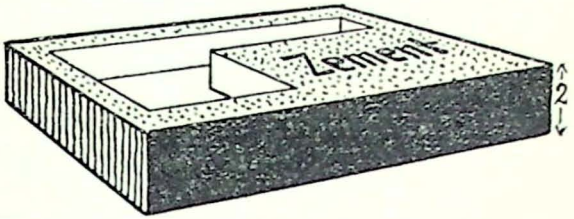


Abb. 25. Die Pappſchachtel mit der fertigen Gußform.

Die fertigen Holzmodelle werden auf der einen Breitſeite mit einer kleinen Handhabe — etwa einer Meſſingſchraube — verſehen, damit man ſie ſpäter bequem aus der Form heben kann und dann ſorgſam mit Spirituslack überzogen. Sobald die Lackierung trocken iſt, geht es an die Herſtellung der Formen. Dazu miſchen wir in einem alten Topf Zement und Waſſer zu einem zähen, faſt kittartigen Brei, den wir — nachdem wir ihn gut durchgerührt haben — in eine bereitſtehende kräftige Pappſchachtel mit höchſtens 2 cm hohem Rand (alte Plattenſchachteln von 10×15-cm-Platten eignen ſich gut) bringen, um die Maſſe, die die Schachtel nicht ganz füllen darf, mit einem

Blechſtreifen glatt zu ſtreichen. Iſt das geſchehen, ſo drücken wir das Holzmodell gleichmäßig in den Zementbrei hinein, bis die Oberfläche mit der Schachtelkante abſchneidet. Gleichzeitig wird der ſeitlich überquellende Zement mit einem Blechſtreifen abgekratzt. Iſt der Zementbrei ſo feſt geworden, daß er beim Entfernen des Modells nicht mehr zuſammenfließt, ſo wird das Modell durch vorſichtiges Ziehen an ſeinem Griff herausgehoben. Die Zementform (Abb. 25) aber bleibt auf einer ebenen Unterlage liegen, bis ſie ſtrohtrocken iſt. Hernach wird ſie mit Graphitpulver eingerieben.

Das zweite Modell wird in der gleichen Weiſe abgeformt. Wenn beide Formen fertig ſind, können wir zum Guß ſchreiten. Als Vorbereitung dazu werden die trockenen Formen über einem Herdfeuer oder einer Gasflamme erhitzt, damit das geſchmolzene Blei ſich beim Eingießen in die Form nicht gleich zu ſtark abkühlt, was den Guß ungünſtig beeinfluſſen würde. Beim Erhitzen verbrennen die Pappſchachteln natürlich, ſo daß die jetzt jeder Stütze beraubten Zementkerne äußerſt vorſichtig zu behandeln ſind, damit ſie nicht zerbrechen. Auch ungleichmäßige Erhitzung iſt von Übel, weil die Formen dadurch leicht ſpringen. Alle Fährlichkeiten werden vermieden, wenn man die Formen zum Erhitzen auf eine Eiſenplatte oder ein Stück Schwarzblech legt und das Feuer darauf einwirken läßt.

Während dieſer Prozedur haben wir unſern Schmelztiegel mit Bleiſtücken gefüllt und ihn mit Hilfe einer Tiegelzange, die man aus einem dicken Draht leicht zurechtbiegen kann, in die Glut des Herdfeuers geſetzt, wobei wir alle in der Nähe befindlichen *brennenden* Kohlenſtücke entfernen. Das Blei wird dann raſch ſchmelzen, beſonders ſchnell, wenn wir mit einem dünnen Metallröhrchen in die Glut blaſen. Sobald das Blei geſchmolzen iſt, angeln wir mit einem längeren, paſſend gebogenen Blechſtreifen alle auf ſeiner Oberfläche ſchwimmenden Unreinlichkeiten weg. Iſt dies geſchehen, ſo kann der Guß beginnen. Wir ſtellen dazu die heiße Form auf ihrer Unterlage neben den Tiegel und gießen das geſchmolzene Blei vorſichtig in einem dünnen Strahl in die Mitte der Formvertiefung.

Daß die Form dabei genau wagrecht ſtehen muß, iſt ſelbſtverſtändlich. Trotzdem füllt das Blei oft nicht alle Ecken aus. Deshalb ſucht man, ſobald die Bleioberfläche und die obere Kante der Form eine Ebene bilden, durch vorſichtiges Klopfen das flüſſige Blei gleichmäßig zu verteilen. Hernach läßt man den Guß erkalten, um ſchließlich die fertige Platte durch Umſtürzen der Form daraus zu entfernen. Da das Blei ſich, wie geſagt, bei der Abkühlung zuſammenzieht, fällt die Platte in der Regel leicht heraus.

Auf dieſe Weiſe gießt man unter Benützung der gleichen Formen, die man nur ab und zu wieder mit Graphit einreiben

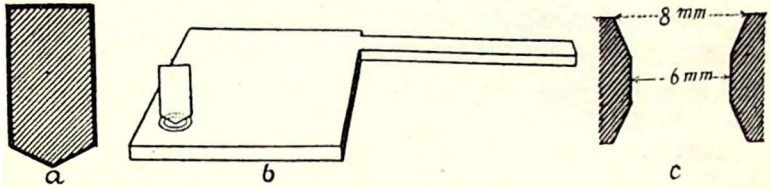


Abb. 26. a Konusbohrer, b die Anwendung des Konusbohrers, c mit dem Konusbohrer beiderſeits koniſch erweitertes Bohrloch im Schnitt ſenkrecht zur Platte.

muß, die nötige Plattenzahl, und zwar am beſten gleich für mehrere Sammler, da man in der Regel ja doch mit einem nicht auskommt. Sparen kann man ſich die zwar nicht ſchwierige, aber doch große Aufmerkſamkeit erfordernde Gußarbeit natürlich, wenn man irgendwo billiges Bleiblech paſſender Stärke oder auch nur Bleiſtücke ungefähr von der benötigten Form bekommen kann. Blei iſt zäh und daher leicht bearbeitbar; mit Hammer, Schere und Grobfeile iſt es nicht ſchwer, einen nur einigermaßen ähnlichen Bleikern — auch ein aufgeſchnittenes Bleirohr — auf die richtige Form zu bringen. Allerdings macht das Gießen mit ſeinem Drum und Dran mehr Spaß, und ſchließlich lernt man dabei allerlei.

Hat man die Platten beieinander, ſo werden ſie zunächſt gereinigt und blank gefeilt, wobei man gleichzeitig die oft zackigen Gußkanten glättet und rundet. Die nächſte Arbeit iſt das Einteilen der Plattenfläche nach Abb. 24 und das Einritzen der Kreiſe mit einem Stechzirkel. Wer glücklicher Be-

ſitzer einer Bohrmaſchine oder eines Drillbohrers iſt, der bis zu 6 mm zu bohren geſtattet, hat nun leichtes Spiel; der andere wird ſich ein ſolches Werkzeug leihen müſſen. Zunächſt werden die kleineren Löcher (6 mm) ganz gleichmäßig in die Platte gebohrt. Die größeren Löcher (8 mm) aber müſſen ſich nach innen verjüngen, und zwar beiderſeits. Derartige koniſche Bohrlöcher erhält man, wenn man ein nach Abb. 26 a geformtes Eiſenſtück mit ſcharfen Kanten — einen ſog. Konusbohrer, den man in Eiſenhandlungen bekommt — in den 6-mm-Löchern dreht, und zwar zunächſt auf der einen Seite der Platte, dann auf der andern. In Abb. 26 b iſt dieſe Arbeit ſchematiſch angedeutet. Abb. 26 c zeigt den Schnitt durch eine fertige Bohrung ſenkrecht zur Platte; die Zeichnung iſt ſtark übertrieben, um die Eigenart der koniſchen Löcher gut hervortreten zu laſſen.

Statt alle Platten einzeln zu bohren, kann man dieſe Arbeit auch am Modell vornehmen und dann die Platten mit den Löchern gießen. Dazu gehört allerdings ſchon einige Geſchicklichkeit im Metallguß, die man erſt durch Übung erwirbt. Am beſten begnügt man ſich anfänglich damit, das Holzmodell nach Abb. 24 mit den 6-mm-Löchern zu verſehen, dieſe aber nur auf einer Seite koniſch auszubohren. Die Zementform wird dann auf die gleiche Weiſe wie vorher erſtellt, wobei man das Modell mit der fertig gebohrten Seite nach unten in den Zementbrei drückt, der zwar zäh, aber doch dünnflüſſig genug ſein muß, um alle Vertiefungen zu füllen. Auch beim Gießen muß man gut darauf achten, daß das flüſſige Metall die Form überall gleichmäßig ausfüllt. Wir erhalten auf dieſe Weiſe durch den Guß Bleiplatten, deren Löcher nur noch auf der einen Seite koniſch auszubohren ſind.

Man kann aber die Platten auch vollſtändig fertig gießen. Dazu müſſen wir die Holzmodelle fertig bearbeiten und dann jede Seite bis zur halben Dicke in Zement abdrücken, ſo daß wir für jede Platte zwei Formen erhalten. Die Oberfläche des Zementbreis iſt dann beſonders gut zu glätten, damit die beiden Halbformen hernach gut aufeinander paſſen. Das Modell

wird beim Abformen ſo angeordnet, daß der Anſatzſtreifen mit der einen Kante der Zementform abſchneidet. Auf dieſe Weiſe entſteht beim Zuſammenlegen der Formen an dieſer Stelle ein Einguß, durch den man das flüſſige Blei einfüllen kann. Derartige Doppelformen müſſen ſehr heiß ſein, damit das Blei nicht zu ſchnell erſtarrt. Sie werden zum Guß mit einem dünnen Eiſendraht kreuzweis zuſammengeſchnürt und

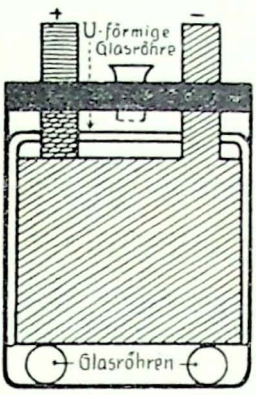


Abb. 27. Anſicht von der Seite.

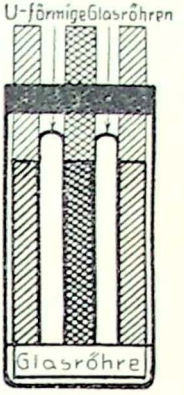


Abb. 28. Anſicht von vorn.

Wie die Platten eingebaut werden.

mit dem Einguß nach oben ſenkrecht aufgeſtellt. Damit ſie nicht umfallen, hält man ſie mit einem dicken, paſſend gebogenen Draht.

Um Enttäuſchungen vorzubeugen, wiederhole ich, daß das Gießen der fertigen Platten eine recht ſchwierige Sache iſt, die Ungeübten ſelten gelingt. Das Ausbohren der maſſiven Platten iſt alſo für Anfänger unbedingt vorzuziehen, ſelbſt wenn man dabei fremdes Werkzeug oder fremde Hilfe in Anſpruch nehmen muß.

Sind die Bleigitter fertig, ſo werden ſie nach den auf S. 46 ff. gegebenen Anweiſungen zuerſt paſtiert und dann gehärtet. Auf die Wichtigkeit guter Härtung ſei nochmals aufmerkſam gemacht. Nach vorgenommener Probe (ſ. S. 49) ſchreiten wir zum Einbau in das Glasgefäß. Die Mennigeplatte

kommt zwiſchen die beiden anderen zu ſtehen. Quer unter die Platten kommen zwei Glasröhren von etwa 8 mm Dicke (vergl. Abb. 27). Ebenſo werden die Platten voneinander durch Glasröhren iſoliert, die man am beſten nach Abb. 27 U-förmig biegt und dann ſo zwiſchen die Platten legt, daß die freien Enden nach unten ſehen. Auf dieſe Weiſe wird ſicher verhindert, daß etwa herabfallende Maſſeteilchen Kurzſchluß zwiſchen den Platten verurſachen. Die Länge dieſer Iſolierrohre bemißt man ſo, daß ſie die Platten um etwa 5 mm überragen.

Das Biegen der etwa 6 mm ſtarken Glasröhren*) erfolgt in der Weiſe, daß man zunächſt von einer langen Röhre ein

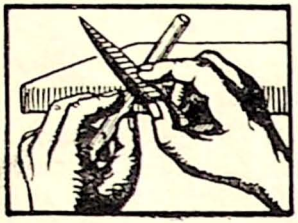


Abb. 29. Die zu teilende Glasröhre wird mit der Dreikantfeile geritzt.

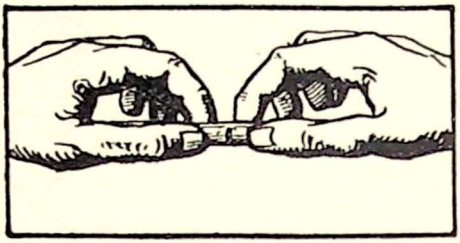


Abb. 30. Die geritzte Röhre wird gebrochen.

paſſendes Stück durch ſcharfes Einritzen mit der Dreikantfeile (Abb. 29) und kurzes Abbrechen (vergl. Abb. 30) abſchneidet, um dieſe gerade Röhre dann an der erſten Biegeſtelle in einer breiten Gas- oder Spiritusflamme unter fortwährendem Drehen und Hin- und Herbewegen zu erhitzen (vergl. Abb. 31), bis man ſpürt, daß das Glas weich wird und dem Druck der Hände nachgibt. Sogleich nimmt man die Röhre aus der Flamme und biegt ſie durch ſanften Druck nach unten um, bis der eine Schenkel im rechten Winkel zum anderen ſteht. Iſt die Röhre wieder erkaltet, ſo wird die zweite Biegung auf dieſelbe

*) Mit dem Plattenabſtand wächſt der innere Widerſtand der Zelle, der ſeinerſeits die Stromſtärke bedingt (ſ. Ohmſches Geſetz, S. 101). Infolgedeſſen darf man zur Trennung der Platten nicht zu dicke U-Röhren nehmen; 6 mm iſt gerade die richtige Stärke. Über 8 mm ſollte man nicht hinausgehen. Dagegen iſt die Dicke der weiter unten erwähnten U-Röhren zwiſchen Außenplatten und Gefäßwand natürlich gleichgültig.

Weiſe erſtellt. Die Länge der drei Schenkel muß man natürlich vorher abmeſſen. Sind die beiden ſenkrechten Schenkel ungleich lang geworden, ſo bricht man das überragende Stück nach ſcharfem Ritzen mit der Dreikantfeile ab. Die ſcharfen Enden werden zum Schluß durch Drehen in der Flamme abgerundet (vergl. Abb. 32).

Den Plattenſtapel mit den trennenden U-Röhren ſchnürt man nach den Angaben auf S. 49 feſt zuſammen, um ihn dann in das Glasgefäß zu ſetzen. Iſt der ſeitliche Spielraum groß, ſo fügt man auch hier noch iſolierende U-Röhren ein, deren Dicke man ſo bemißt, daß die Platten ſich nicht mehr bewegen

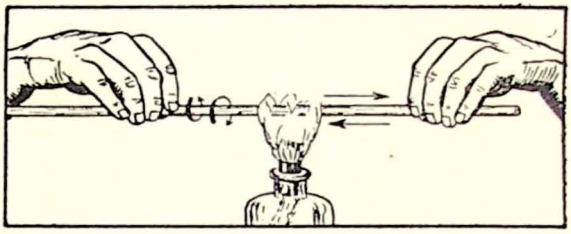


Abb. 31. Um die Glasröhre zu biegen, wird ſie an der betreffenden Stelle in einer recht breiten Flamme erhitzt, wobei man die Röhre fortwährend dreht und gleichzeitig in der Längsrichtung etwas hin und her bewegt.

können. Die nächſte Arbeit iſt das Vergießen der Zelle. Dazu ſchneiden wir aus ſtarkem Karton nach dem Muſter der Abb. 33 einen Deckel, deſſen Dimenſionen ſich genau nach denen des Glasgefäßes richten, wie das durch die mit den Bezeichnungen in Abb. 23 korreſpondierenden Buchſtaben B und L angedeutet iſt. Die Entfernung E ergibt ſich aus dem Abſtand der negativen Platten, desgleichen die Lage der Löcher 1 und 2, die genau der Stärke der Anſatzſtreifen entſprechend ausgeſchnitten werden. Für das Loch 3, das den poſitiven Anſatz aufnimmt, gilt dasſelbe. Das runde, 1,5 cm Durchmeſſer aufweiſende Loch 4 für das Füllröhrchen kommt in die Mitte. Die Löcher 1, 2 und 3 ſollen ziemlich genau paſſen, ſo daß ſich der Deckel nur unter Druck auf die Anſätze ſchieben läßt. Vorher wird der Deckel aber in einer Miſchung von Paraffin und

Kolophonium, die man in einem nahtloſen, aus Weißblech gebogenen Blechwännchen ſchmilzt, gekocht, um ihn auf dieſe Weiſe ſäureunempfindlich zu machen. Da das geſchmolzene Fett ihn ganz durchdringen ſoll, muß er mindeſtens 20 bis 30 Minuten darin liegen bleiben. Nach dieſer Friſt angelt man ihn mit einem Draht heraus, läßt ihn ein wenig abtropfen und ſteckt ihn dann auf die Bleiſtreifen, um ihn ſo weit

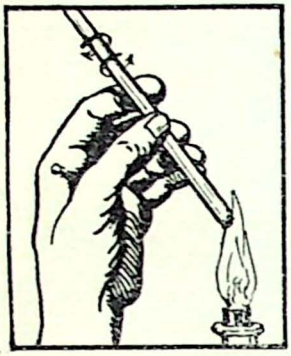


Abb. 32. Das ſcharfkantige Ende der zerſchnittenen Röhre wird durch fortwährendes Drehen in der Flamme abgerundet.

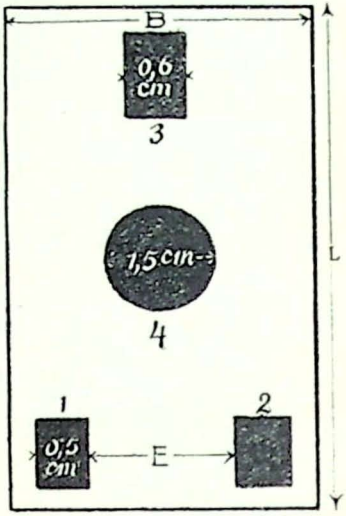


Abb. 33. Muſter für den Deckel.

herunterzuſchieben, bis er etwa 1 cm unter dem oberen Rand des Glaſes liegt (vergl. Abb. 34).

In dieſer Lage wird der Deckel mit Kolophoniumfäden, die man aus geſchmolzenem Kolophonium zieht, ſorgfältig gegen die Glaswände und die Bleiſtreifen abgedichtet. Glas und Bleiſtreifen müſſen dabei vollkommen trocken ſein, ſonſt haften die Harzfäden nicht. Daß der Deckel gut in das Gefäß paſſen muß, iſt ſelbſtverſtändlich. Nur dann läßt ſich auf die beſchriebene Weiſe ein guter Abſchluß erreichen. In das mittlere Loch wird bei dieſer Gelegenheit ein paſſendes, 2 cm langes Glasröhrchen eingekittet, und zwar ſo, daß es etwa 2 mm über den oberen Glasrand hervorſchaut. Auf den feſt eingekitteten

Deckel kommt eine Vergußmasse, die wir aus 3 Gewichtsteilen Schusterpech, $^1/_2$ Gewichtsteil Kolophonium und $^1/_2$ Gewichtsteil Paraffin zusammenschmelzen. Zweckmäßig setzt man die Paraffin-Kolophonium-Mischung, in der der Deckel gekocht wird, schon entsprechend zusammen. Man braucht dann hernach nur noch die richtige Menge Schusterpech hinzuzufügen. Die Vergußmasse soll zähflüssig sein, darf also nicht allzu stark erhitzt werden. Mit ihr wird der Raum über dem Deckel bis zum Rande des Glases vollständig gefüllt, wobei man gut darauf achtet, daß sie auch in den schmalen Raum zwischen den negativen Ansätzen und der Glaswand dringt.

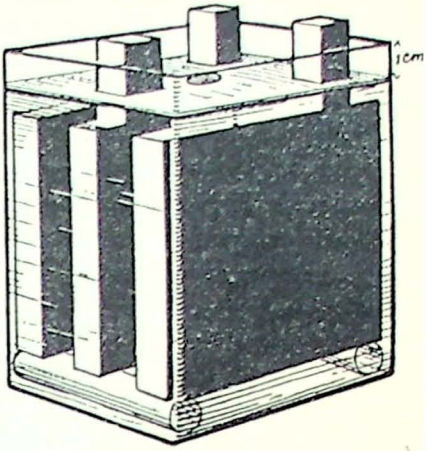


Abb. 34. Der Deckel wird aufgesetzt; er soll 1 cm unter dem oberen Rand des Glases liegen.

Ist der Verguß erkaltet, so sind noch die Polklemmen anzulöten. Dazu schneiden wir die Ansätze etwa 1,5—2 cm über der Glaskante ab, um zunächst die beiden negativen Streifen nach Abb. 35 durch eine 5—6 mm starke Bleibrücke zu verbinden. Die Schnittflächen müssen ganz eben sein; die Ansätze und der Verbindungsstreifen sind blank zu

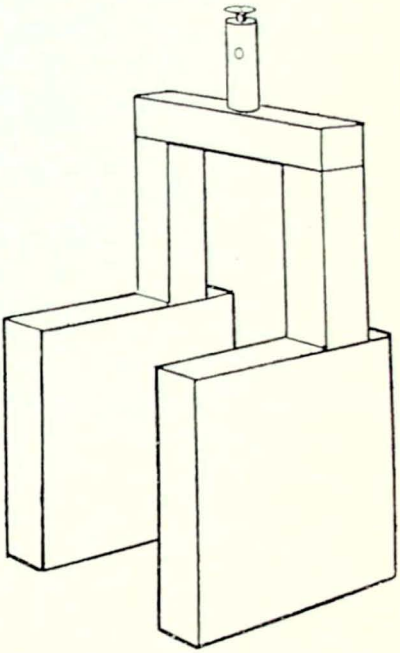


Abb. 35. Die Verbindung der negativen Platten durch eine Brücke.

feilen. Sie werden dann nach der auf S. 43 gegebenen Anleitung mit einem blanken, ſchwach rotglühenden Lötkolben verſchmolzen. Iſt das geſchehen, ſo macht man eine blank gefeilte Klemmſchraube im Herdfeuer oder einer Gasflamme glühend, um ſie dann mit einer Flachzange mitten auf die Brücke zu ſetzen und ſie ein wenig anzudrücken. Die Klemme wird in das Blei einſchmelzen und nach dem Erkalten feſt in der Brücke ſitzen. Gut iſt es, wenn die Klemme unten einen kleinen Wulſt hat; ſie hält dann um ſo beſſer. Auf dem poſitiven Anſatz wird in der gleichen Weiſe eine Klemme befeſtigt; der Durchmeſſer iſt natürlich entſprechend der Dicke des Bleiſtreifens zu wählen. Die Lötſtellen und die Klemmen werden zum Schutz gegen die Schwefelſäure mit Aſphalt- oder Schellack überzogen. Zum Schluß füllt man noch die Säure (ſ. S. 54 f.) ein, die dauernd etwa 5 mm über den Platten ſtehen ſoll, und verſchließt das Füllröhrchen mit einem durchbohrten Gummizapfen. Damit iſt die Zelle, in der wir dank des feſten Verſchluſſes einen tragbaren Sammler vor uns haben, zum Laden bereit.

Die volle Kapazität, die, wie wir ſchon wiſſen, $3^1/_2$ Ampereſtunden beträgt, erreicht die Zelle erſt nach 6—8maligem Laden und Entladen. Das erſtemal wird man etwa 5 Stunden laden müſſen, bis Gasentwicklung eintritt. Die höchſtzuläſſige Ladeſtromſtärke iſt 1 Ampere; bei der Entladung ſoll man möglichſt nicht über 0,5 Ampere hinausgehen. Dieſe Stromſtärke gibt die Zelle ihrer Kapazität entſprechend 7 Stunden lang ab. Steigert man die Entnahme auf 1 Ampere, ſo ſinkt die Kapazität auf 3,1 Ampereſtunden. 1 Ampere erhält man alſo nur etwa 3 Stunden lang. Dieſe Stromſtärke darf bei der Entladung nur für Minuten überſchritten werden, da ſonſt die Zelle durch Werfen der Platten Schaden leidet. Für 2—3 Minuten aber gibt die Zelle im Notfall auch einmal 5—6 Ampere her. Zum Laden nimmt man auch hier am beſten Daniell-Elemente, und zwar braucht man zur Erreichung der richtigen Ladeſpannung wie vorher drei Stück. Da die Ladeſtromſtärke diesmal aber nur 1 Ampere beträgt, kann man eine ganze Anzahl Zellen auf einmal laden, bei Daniell-Elementen von

je 400 cm^2 Elektrodenfläche, die bequem etwa 6 Ampere liefern, beispielsweise 6 Stück. Man wendet dabei am besten die durch Abb. 36 veranschaulichte Schaltung an. In dieser Skizze sind E_1, E_2 und E_3 die drei hintereinander geschalteten Ladeelemente. V ist ein Spannungsmesser (Anleitung zur Anfertigung gibt das 7. Kapitel), der anzeigt, ob die Ladespannung mindestens 2,7 Volt erreicht. Der Spannungsmesser wird jeweils

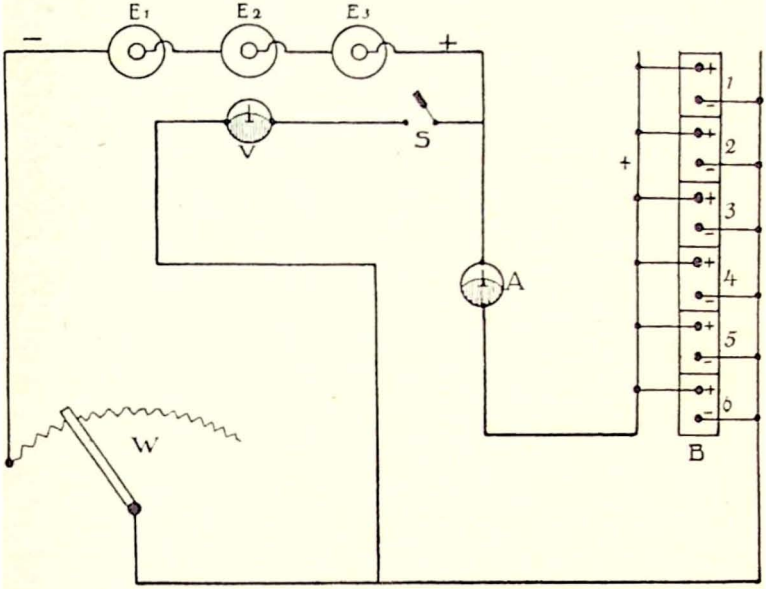


Abb. 36. Schaltskizze zum gleichzeitigen Laden mehrerer parallelgeschalteter Sammler von einer aus drei hintereinandergeschalteten großen Daniell-Elementen E_1—E_3 bestehenden Batterie aus.

nur kurz in den Stromkreis geschaltet. Deshalb liegt in der zu ihm führenden Zweigleitung ein Ausschalter S (s. S. 84 ff.). Bei W haben wir einen kleinen Regulierwiderstand (s. S. 98 ff.), mit dessen Hilfe wir den von der Ladebatterie gelieferten Strom so regeln können, daß die zu ladenden Sammler nicht mehr als je 1 Ampere, bei 6 Zellen also insgesamt 6 Ampere, erhalten. Der Strommesser A (s. S. 136) gestattet die genaue Stromstärke abzulesen. Bei B schließlich sehen wir die Sammlerbatterie,

deren Zellen für die Ladung alle nebeneinander geſchaltet worden ſind. Beim Regeln der Stromſtärke mittels des Widerſtandes W iſt darauf zu achten, daß die Spannung am Voltmeter nicht unter 2,7 Volt ſinkt. Über die Beziehungen zwiſchen Stromſtärke, Spannung und Widerſtand unterrichtet uns die Einleitung zum 5. Kapitel.

Daß man die gleiche Schaltung auch für mehr oder weniger Zellen anwenden kann, iſt ſelbſtverſtändlich. Sie wird insbeſondere dann gute Dienſte leiſten, wenn man mit den ſehr ſtarke Ströme liefernden Bunſenelementen laden will. Beim Laden iſt ſtets der Gummizapfen von der Füllöffnung zu entfernen.

Daß die normale Spannung jedes Akkumulators zwei Volt beträgt, erwähnten wir ſchon. Iſt dieſe Spannung bei der Entladung auf 1,85 Volt geſunken, was ſich in Ermangelung eines Voltmeſſers durch Einſchalten eines zweivoltigen Glühlämpchens, das bei 1,85 Volt dunkelrot brennt, leicht feſtſtellen läßt, ſo darf eine weitere Stromentnahme nicht mehr ſtattfinden, vielmehr iſt für baldige Aufladung Sorge zu tragen.

Will man mehrere Akkumulatoren zu einer Batterie vereinigen, um höhere Spannungen zu erhalten, ſo werden die Zellen hintereinandergeſchaltet, d. h. es wird die negative Klemme der erſten Zelle mit der poſitiven der nächſten verbunden uſw., ſo daß ſchließlich eine poſitive und eine negative Klemme freibleiben, die zum Anſchluß des Außenſtromkreiſes dienen. Zur Verbindung der einzelnen Zellen untereinander benutzt man entweder blanken Kupferdraht, oder beſſer 5 bis 6 mm ſtarken Bleidraht, der durch die aufſteigenden Säuredämpfe nicht ſo leicht angegriffen wird. Sowohl dem Blei- wie dem Kupferdraht kann ein Überzug von Aſphaltlack nicht ſchaden, der ſich natürlich nicht auf die in den Klemmenöffnungen ſitzenden Enden der Drähte erſtrecken darf. Die Klemmenöffnungen und die blanken Enden der Drähte ſind häufig zu prüfen, ob ſich durch die Säuredämpfe vielleicht Blei- oder Kupferverbindungen gebildet haben, die den guten Kontakt ſtören. Beim Verſagen der Batterie ſoll immer der erſte Blick

dem Zuſtand der Klemmen gelten, wenn nicht eine andere Störungsurſache klar vor Augen liegt.

Über den Unterhalt der Sammler iſt eigentlich wenig mehr zu ſagen, da die meiſten Punkte ſchon beſprochen wurden. Überſchreitet man die Lade- und Entladeſtromſtärke nicht, ſo können Akkumulatoren der von uns beſchriebenen Konſtruktion wohl 3—5 Jahre ununterbrochen Dienſt tun. Hernach wird ein Erſatz der Plusplatten notwendig ſein, während die Minusplatten wohl 10 Jahre aushalten. Soll eine Batterie längere Zeit unbenutzt ſtehenbleiben, ſo iſt es zweckmäßig, die Behälter zu leeren und die Platten trocken darin aufzubewahren. Erſt beim Wiedergebrauch iſt friſche Säure einzufüllen und kräftig aufzuladen. Will man dieſe Maßregel vermeiden, ſo muß man die Zellen, trotzdem ſie nicht gebraucht werden, von Zeit zu Zeit — etwa einmal im Monat — aufladen, weil ſie bei längerem Stehen einen Teil ihrer Ladung verlieren. *Ein Stehenlaſſen in ungeladenem Zuſtande ſchadet den Akkumulatoren außerordentlich*, weil ſich dabei an den Platten ſchwefelſaures Blei (Bleiſulfat) bildet, das ſchließlich die ganze Oberfläche überzieht. Eine ſolche „*Sulfatierung*“ tritt auch bei zu hoher Entladeſtromſtärke, tieferem Entladen als 1,85 Volt und Kurzſchluß ein. Die Sulfatierung der Platten ſetzt die Kapazität des Akkumulators ſehr ſtark herab; die Sulfatſchicht kann nur, ſolange ſie noch ſehr dünn iſt, durch andauerndes Laden, das aber die Lebensdauer der Platten ungünſtig beeinflußt, wieder beſeitigt werden. In der Regel iſt die Sulfatierung mit einem Krümmen oder Werfen der Platten verbunden. Bemerkt man, daß eine Platte dazu Neigung hat, ſo ſchiebt man zwiſchen ſie und die Nachbarplatte Glasſtäbe ein, die eine weitere Verringerung des Plattenabſtandes verhüten. Auch kann man verſuchen, die Platten durch breite Brettchen, deren Dicke gleich dem Abſtand zweier benachbarter Platten iſt, gerade zu drücken. Helfen dieſe Maßregeln nicht, ſo muß die Platte entfernt und durch eine neue erſetzt werden, da ſonſt der unbedingt entſtehende Kurzſchluß die ganze Zelle zer-

ſtören kann. Eine kurzgeſchloſſene Zelle erkennt man daran, daß ſich beim Laden nur wenig Gasbläschen zeigen, und daß die Spannung immer unter 2 Volt bleibt (vergl. auch S. 63).

Nach längerem Gebrauch wird man bemerken, daß die Maſſe aus den Platten herauszubröckeln beginnt. Die Bleikerne haben ſich aber in der Zwiſchenzeit meiſt ſchon ſo ſtark formiert (ſ. S. 37 ff.), daß der Maſſeverluſt keine Kapazitätsverringerung mit ſich bringt. Man muß nur darauf achten, daß die herausgefallenen Brocken ſich nicht zwiſchen den Platten feſtſetzen, da ſie dann das betr. Plattenpaar kurz ſchließen. Bei den großen Zellen kann man den Fehler leicht beſeitigen, indem man mit einem Glasſtab zwiſchen den Platten durchfährt. Die feſt verſchloſſenen kleinen Zellen aber muß in einem ſolchen Fall entleeren und gut mit Waſſer ausſpülen. Durch ein recht weites Füllröhrchen wird dieſe Arbeit erleichtert.

Von Zeit zu Zeit wird man übrigens auch die großen Zellen von dem Schlamm reinigen müſſen, der ſich durch ausbröckelnde Maſſe uſw. auf dem Boden ſammelt. Am einfachſten verwendet man dazu einen Glasheber, der nach dem Anſaugen langſam über den Boden hinweggeführt wird und den Schlamm ſchnell herausbefördert (Gefäß unterſtellen!). Das Anſaugen muß natürlich vorſichtig geſchehen (langen Gummiſchlauch am Saugende verwenden!), damit man keine Säure in den Mund bekommt. Es gibt übrigens käufliche Heber, bei deren Konſtruktion das unmöglich iſt.

Über die Verwendung der Akkumulatoren iſt nur zu ſagen, daß ſie ſich für alle Verſuche eignen, die wir nur anſtellen wollen. Wir können ſie alſo ebenſogut zum Betrieb von Motoren und Induktionsapparaten, zu galvanoplaſtiſchen Arbeiten und zu elektrochemiſchen Experimenten, wie für kleine Beleuchtungsanlagen, Koch- und Heizverſuche, Röntgenographie, Experimente mit Teslaſtrömen, drahtloſe Telegraphie und Telephonie uſw. benutzen. Zweckmäßig iſt ihre Verwendung jedoch nur da, wo ſie nicht durch Schwachſtromprimärelemente erſetzt werden können. Für Klingelanlagen z. B. wäre ein Akkumu-

lator als Stromquelle ſehr unzweckmäßig, weil hier ein billiges Zink-Kohle-Salmiak-Element die gleichen Dienſte beſſer leiſtet.

Viertes Kapitel.

Schalter, Verbindungsklemmen, Sicherungen.

Bei allen elektriſchen Anlagen, gleichviel ob es ſich um Inſtallationen handelt, die dauernd an ihrem Platz bleiben (Beiſpiel: Klingelanlagen), oder um Verſuchsleitungen, die nur für die Dauer eines Experiments geſchaffen werden, ſind Vorrichtungen nötig, die uns geſtatten, den Strom ſchnell ein- und auszuſchalten. Man kann das zwar dadurch bewirken, daß man eine Verbindungsklemme, etwa eine der Anſchlußklemmen der Stromquelle, löſt und den betreffenden Draht daraus entfernt. Das iſt aber auf die Dauer ein ſehr umſtändliches Verfahren, und es iſt vor allem dort nicht anwendbar, wo die Ein- und Ausſchaltung des Stromes an einer Stelle erfolgen ſoll, die von der Batterie weit entfernt iſt. Man hat deshalb beſondere kleine Apparate erdacht, die man in den Stromkreis einſchaltet, und die ein Öffnen und Schließen des Stromes durch Drehen eines Hebels, Niederdrücken bzw. Emporſchnellenlaſſen einer Feder oder auf andere ähnliche Weiſe geſtatten. Solche Apparate bezeichnet man als Schalter und zwar je nach ihrer Form und Verwendung als Taſter, Druckknöpfe, Kurbelſchalter, Umſchalter uſw.

1. Taſterſchalter.

Ein ganz einfacher Taſterſchalter iſt in Abb. 37 dargeſtellt. Auf einem kleinen, rechteckigen Holzbrett, das durch vier Schrauben irgendwo befeſtigt werden kann, iſt ein federnder Blechſtreifen mit dem einen Ende feſtgeſchraubt. Am beſten iſt es, wenn man Neuſilber- oder Meſſingblech verwendet, das ſich gut bearbeiten läßt, ſtark federt und gute Kontakte ſichert. Das freie Ende des Blechſtreifens iſt etwas in die Höhe gebogen. Unter ihm iſt in dem Holzblock eine kleine Meſſingſchraube mit

halbrundem Kopf befeſtigt. Unter dieſer Meſſingſchraube wieder befindet ſich eine meſſingene Unterlegſcheibe (Abb. 39). Zwiſchen Schraubenkopf und Scheibe iſt der Zuführungsdraht des Stromkreiſes, in den der Taſter eingeſchaltet zu denken iſt, befeſtigt, während der Ableitungsdraht unter der Schraube, die den Meſſingſtreifen hält, und zwar zwiſchen Schraubenkopf und Meſſingblech, eingeklemmt wird.

Taſterſchalter der beſchriebenen Art eignen ſich ſehr gut für Klingelanlagen und ähnliche Zwecke, wo es nur auf kurz dauernden Stromſchluß ankommt. In vielen Fällen zieht man dafür allerdings ſogen. Druckknöpfe vor, die man beſonders dann verwendet, wenn der Schalter ſich an der Haustür oder

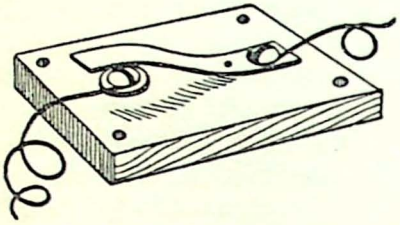


Abb. 37. Einfacher Taſterſchalter.

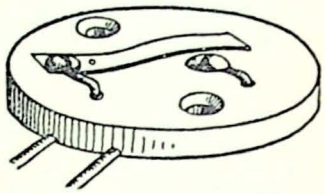


Abb. 38. Einfacher Taſterſchalter für einen Druckknopf.

einer andern Stelle befindet, wo er Unbefugten leicht zugänglich iſt. Dieſe Druckknöpfe, die wir wohl alle von den elektriſchen Klingelanlagen her kennen, ſind auch Taſterſchalter, die in ein Gehäuſe eingeſchloſſen ſind. Die Abb. 38, 40 u. 41 ſtellen einen ſolchen Druckknopf und ſeine Einzelteile dar. Die beiden Zuführungsdrähte ſollen auf der Rückſeite des runden Brettchens verlaufen. Hier ſchneiden wir deshalb zwei nebeneinanderliegende ſchmale Rinnen ein, in die wir die Drähte eindrücken, ſo daß ſie in das Holz eingebettet ſind. Als Deckel dient eine flache Holz- oder Pappſchachtel, die genau auf unſer Grundbrett paßt. Auf die Mitte des Schachtelbodens leimen wir das Ende einer Zwirnsrolle, das wir vorher mit der Laubſäge von einer ſolchen Rolle abgeſchnitten haben, und zwar kommt die breitere Seite, wie Abb. 40 zeigt, auf den Schachtelboden, den man entſprechend der Öffnung durchbohrt.

Durch dieſe Bohrung ſteckt man einen kleinen, länglichen Kontaktknopf, der aus einem Holzpflock geſchnitten wird. Das innere Ende des Kontaktknopfes muß, wenn das Gehäuſe auf dem Grundbrett ſitzt, auf dem federnden Blechſtreifen ruhen, während das äußere Ende etwa 3—4 mm über die Spulen-

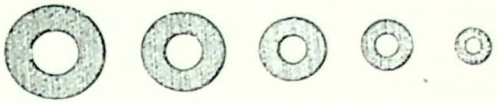


Abb. 39. Meſſing-Unterlegſcheiben verſchiedener Größe.

oberfläche hinausſchauen ſoll. Damit der Knopf nicht herausfällt, befeſtigt man an dem auf der Feder ruhenden Ende eine kleine Holz- oder Pappſcheibe, deren Durchmeſſer größer iſt als die Spulenöffnung, oder ſteckt durch dieſes Ende einen kleinen Drahtſtift hindurch. Abb. 41 veranſchaulicht das Ausſehen ſo hergerichteter Kontaktknöpfe. Einige kleine Schrauben,

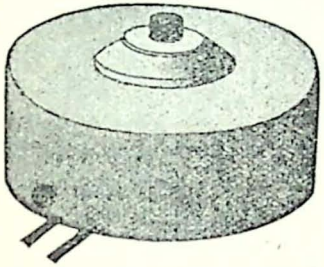


Abb. 40. Außenanſicht des fertigen Druckknopfes.

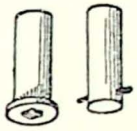


Abb. 41. Kontaktknöpfe mit Scheibe oder Stift am unteren Ende, um das Herausfallen zu hindern.

die durch den unteren Schachtelrand in die Kante des Grundbrettchens greifen, halten das Gehäuſe an ſeinem Platz feſt. Wenn man den fertig montierten Schalter mit dunklem Lack überzieht, ſieht er ſehr hübſch aus. Er iſt dabei für wenige Groſchen herzuſtellen.

2. Kurbelſchalter.

Soll ein Stromkreis für längere Zeit geſchloſſen werden, ſo benutzt man Kurbel- oder Hebelſchalter. Kurbelſchalter finden

beſonders bei ſchwächeren Strömen Verwendung, wie wir ſie bei den meiſten Experimenten brauchen, während ſich Hebelſchalter für Stromkreiſe, die von ſtarken Strömen durchfloſſen werden, eignen; die Hebelſchalter laſſen wir hier außer Betracht.

Abb. 42a ſtellt einen einfachen Kurbelſchalter mit einem Kontakt dar. Er iſt auf einem glatt gehobelten Brett aus trockenem, aſtfreiem Hartholz von etwa 9 cm Länge, 6 cm Breite und 1½ cm Dicke montiert. Der Kontakt T beſteht aus einem ſchmalen Meſſingſtreifen, der mit einer kleineren und einer größeren Meſſingſchraube auf dem Grundbrett befeſtigt iſt. Beide Schrauben haben halbrunde Köpfe. Unter der kleineren wird der Ableitungsdraht befeſtigt, während die größere als Kontakt dient, auf dem die Schalterkurbel mit ihrem freien Ende ſchleift. Dieſe Kurbel iſt an der unteren Schmalſeite des Grundbrettes befeſtigt, und zwar an einem kleinen Meſſingſtreifen der gleichen Art, wie wir ihn eben erwähnten. Auch dieſer Meſſingſtreifen wird durch zwei Schrauben auf dem Grundbrett feſtgehalten. Die eine dieſer Schrauben nimmt den Zuführungsdraht auf, die andere hält die mit einer Bohrung verſehene Kurbel, die ſich alſo um dieſe zweite Schraube drehen läßt. Das Bohrloch iſt ſo weit zu machen, daß die Drehung bequem vor ſich geht. Die Schraube iſt aber ſo ſtraff anzuziehen, daß die Kurbel feſt auf dem Kontakt T ſchleift. Da das Schraubenköpfchen T über das Grundbrett hervorragt, muß man am Drehende der Kurbel eine oder zwei Unterlegſcheiben entſprechender Dicke unterlegen, damit die Kurbel in der richtigen Höhe über dem Grundbrett ſteht. Man kann ſich jedoch auch dadurch helfen, daß man das freie Ende der Kurbel etwas hochbiegt. Die Kurbel ſelbſt beſteht aus einem Streifen Meſſingblech von 1—1½ mm Dicke, an deſſen

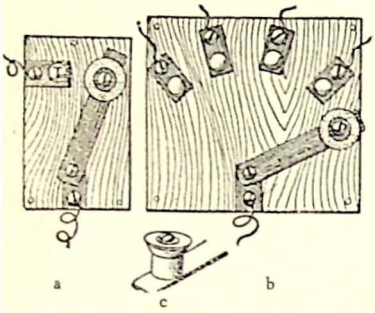


Abb. 42. Kurbelſchalter verſchiedener Bauart.

freiem Ende man einen kleinen Handgriff befeſtigt, den Abb. 42c von der Seite zeigt. Der Handgriff ſoll aus iſolierendem Material beſtehen. Am einfachſten iſt es, wenn man eine kleine Garnrolle dazu verwendet, die man quer durchſchneidet. Durch die Bohrung der Rolle wird eine kleine Meſſingſchraube mit Metallgewinde geſteckt, die durch eine Unterlegſcheibe gegen das Durchrutſchen geſichert wird, wenn die Bohrung ſehr groß iſt. Dann bohrt man auch in das freie Ende der Kurbel ein Loch, ſteckt das aus dem Griff hervorragende Ende der Schraube hindurch und ſchraubt eine Meſſingmutter dagegen. Der Kurbelgriff wird dann unverrückbar feſtſitzen. Er ſoll ſo weit vom Ende der Kurbel entfernt ſein, daß das überſtehende Blechſtück ungehindert auf dem Kontakt T ſchleifen kann. Die Dicke der Mutter muß bei der Berechnung der Dicke der Unterlegſcheibe am Drehende der Kurbel in Betracht gezogen werden. Man kann die Anwendung einer Mutter vermeiden, wenn man das Ende der Schraube, die den Griff feſthält, auf der Unterſeite der Kurbel vernietet. In dieſem Fall wird ſtatt einer Schraube mit Metallgewinde beſſer eine dünne Meſſingholzſchraube verwendet. Abb. 42a zeigt den beſchriebenen Kurbelſchalter bei geöffneter Leitung. Soll der Strom geſchloſſen werden, ſo iſt die Kurbel nach links hinüberzudrehen, bis ſie auf dem Kontakt T liegt.

Abb. 42b zeigt einen Kurbelumſchalter mit vier Kontakten, der nach der Abbildung leicht herzuſtellen iſt. Die Zahl der Kontakte läßt ſich natürlich beliebig vergrößern oder verkleinern. Wir haben nur darauf zu achten, daß alle Kontakte auf einer Kreislinie angeordnet werden, damit die Kurbel ſie ſämtlich berühren kann. Mit einem derartigen Mehrfachumſchalter kann man Glocken in verſchiedenen Räumen von einer Stelle aus in Betrieb ſetzen, auch verwendet man ſolche Kurbelſchalter als ſog. Zellenſchalter oder Batteriewähler ſowie zum Einſchalten von Widerſtänden. Über die Schaltung von Widerſtänden werden wir ſpäter noch näheres hören; die Verwendung von Umſchaltern als Batteriewähler dagegen wollen wir an dem in Abb. 43 wiedergegebenen Schaltungsſchema kurz erläutern.

Wir ſehen dort eine Batterie von vier hintereinandergeſchalteten Zellen; der freie, poſitive Pol der Batterie iſt mit einer beſonderen Anſchlußklemme verbunden; der freie negative Pol dagegen iſt zum Kontakt 4 eines Kurbelumſchalters geführt, deſſen übrige Kontakte mit den Verbindungsdrähten der einzelnen Elemente oder mit deren negativen Polen verbunden ſind, während die Kurbel an eine zweite Anſchlußklemme geſchaltet iſt. Liegt die Kurbel auf Kontakt 4, ſo iſt der Strom der ganzen vierzelligen Batterie an den Anſchlußklemmen

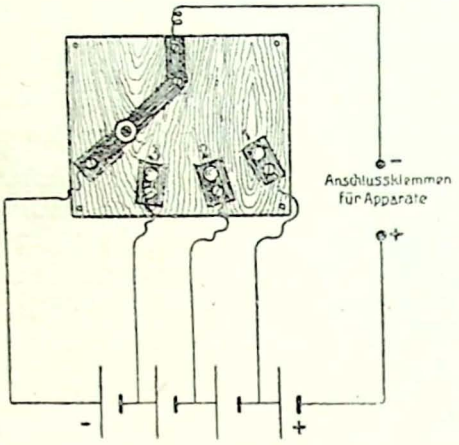


Abb. 43. Schematiſche Darſtellung der Verwendung eines Kurbelumſchalters als Zellenſchalter oder Batteriewähler.

verfügbar. Drehe ich die Kurbel auf Kontakt 3, ſo iſt das vierte Element ausgeſchaltet, und nur drei Elemente entſenden ihren Strom zu den Anſchlußklemmen. Steht die Kurbel auf Kontakt 2, ſo ſind nur zwei Elemente mit den Anſchlußklemmen verbunden uſw. Dieſe Schaltung gibt uns alſo die Möglichkeit, immer die Elementzahl einzuſchalten, die der gerade nötigen Spannung entſpricht, ſo daß kein nutzloſer Stromverbrauch ſtattfindet. Ob es ſich dabei um Primär- oder Sekundärelemente handelt, iſt natürlich gleichgültig.

5. Stromwender.

Stromwender ſind Schalter, die dazu dienen, mit einem einzigen Handgriff die Richtung des Stromes in einem Leitungsnetz umzukehren, wie es bei vielen Verſuchen, z. B. beim Arbeiten mit dem Induktionsapparat und bei elektrochemiſchen Experimenten, oft nötig iſt. Im Grunde iſt dazu ein eigener Schalter natürlich nicht erforderlich, denn man kann die Stromumkehrung auch dadurch bewirken, daß man die zu den Batteriepolen führenden Anſchlußleitungen miteinander vertauſcht, alſo die frühere Plusleitung an den negativen und die frühere Minusleitung an den poſitiven Pol legt. Das iſt jedoch umſtändlich und vor allem dann unbequem, wenn die Batterie nicht im Arbeitszimmer ſelbſt, ſondern vielleicht im Keller oder an einem andern entfernten Orte ſteht. Man zieht es aus dieſem Grunde gewöhnlich vor, einen Stromwender in die Leitung einzuſchalten, der die ganze Arbeit auf das geringſte Maß verringert, da er lediglich eine Hebelverſtellung nötig macht, während alle Leitungen an Ort und Stelle bleiben. Solche Stromwender baut man in verſchiedenen Formen. Eine der einfachſten, die ſich für unſere Zwecke beſonders gut eignet, iſt in Abb. 44 dargeſtellt. Ein Vergleich mit Abb. 42a zeigt uns, daß wir es dabei lediglich mit zwei Kurbelumſchaltern zu tun haben, die auf einem gemeinſamen Grundbrett montiert und deren Kurbeln durch einen iſolierenden Steg zwangsläufig miteinander gekuppelt ſind. Die freien Kurbelenden ſchleifen auf drei Kontaktplatten, die ihrerſeits durch iſolierte Kupfer-

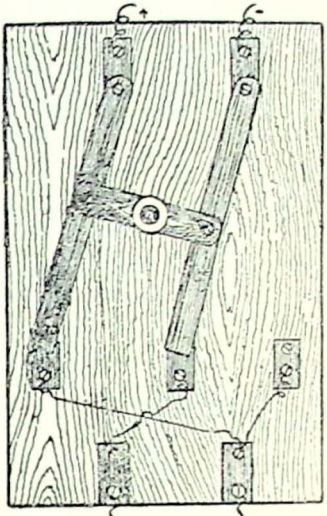


Abb. 44. Stromwender.

drähte in der aus Abb. 44 hervorgehenden Art mit zwei Anſchlußklemmen verbunden ſind. Man pflegt dieſe Drähte gewöhnlich auf die Unterſeite des Grundbretts zu verlegen, um dem Schalter ein beſſeres Ausſehen zu geben. Das Grundbrett wird dann dicht vor den Befeſtigungsſchrauben der Kontakt- und der Klemmplatten mit feinen Bohrlöchern verſehen, durch die man die Drähte hindurchzieht. Über die Herſtellung der Kurbeln iſt wenig zu ſagen, da ſie ganz in der üblichen Weiſe aus Meſſingblech von etwa 1½ mm Dicke erfolgt. Der Verbindungsſteg muß aus nichtleitendem Material beſtehen. Am beſten wird man Hartgummi oder rote Fibre wählen. Die Befeſtigung des Steges an den Kurbeln geſchieht durch zwei kleine Meſſingholzſchrauben, die man auf der Kurbelunterſeite (Kurbeln vorher durchbohren!) ziemlich knapp abfeilt und dann verlötet oder vernietet. Der Kurbelgriff wird aus einem halben Garnröllchen hergeſtellt. Die Anwendung des Schalters ergibt ſich aus der Abbildung von ſelbſt. An die oberen Klemmen werden die beiden Drähte der von der Batterie kommenden Leitung angeſchloſſen; von den beiden untern Klemmen gehen die beiden Zuführungsleitungen zu den Apparaten ab. Iſt die poſitive Batteriezuführung links, die negative rechts angeſchaltet und ſtehen die Kurbeln ſo, wie es Abb. 44 zeigt, ſo geht der poſitive Strom zur rechten unteren Klemme und der negative zur linken. Schiebt man die Kurbeln dann nach rechts hinüber, ſo wird die rechte untere Klemme negativ, die linke poſitiv. Der zu den Apparaten fließende Strom wechſelt alſo mit jeder Kurbelverſchiebung ſeine Richtung.

4. Klemmſchrauben.

Der Gebrauch von Klemmſchrauben oder Verbindungsklemmen wurde in unſern früheren Ausführungen ſchon mehrfach erwähnt. Man verwendet ſie, wenn es gilt, zwei Leitungsdrähte miteinander zu verbinden, Apparate an Leitungen anzuſchließen, Elemente zu einer Batterie zuſammenzuſchalten, kurz überall dort, wo Drahtverbindungen herzuſtellen ſind. Es iſt

ohne weiteres verſtändlich, daß die Klemmſchrauben ſehr verſchiedene Formen haben, je nachdem es ſich um den einen oder den anderen Zweck handelt. Faſt alle dieſe Formen gleichen ſich aber darin, daß ſie eine Schraube enthalten, deren Drehung den Draht feſtklemmt oder löſt. Wenn wir uns hier mit der Herſtellung von Klemmſchrauben beſchäftigen, müſſen wir uns von vornherein darüber klar ſein, daß es keinen Zweck hat, die Anfertigung von Klemmen zu verſuchen, die

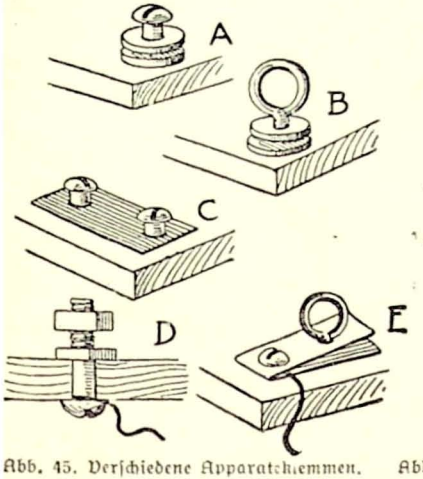


Abb. 45. Verſchiedene Apparatklemmen.

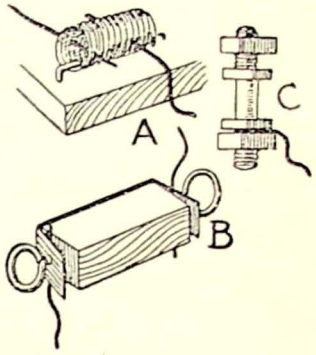


Abb. 46. Verſchiedene Verbindungsklemmen.

zu ihrer Herſtellung komplizierter Metalldreh- oder Stanzarbeiten bedürfen, wie die käuflichen Klemmſchrauben. Dieſe Arbeiten wären für uns zu ſchwierig; ſie würden auch koſtſpielige Werkzeuge erfordern, und unſere Klemmen würden dadurch weit teurer werden, als wenn wir ſie fertig kauften, während wir doch gerade billiger davonkommen wollen. Wollen wir alſo Klemmen ganz beſtimmter Form für einzelne unſerer Apparate haben, ſo kaufen wir ſie lieber. Die Selbſtherſtellung lohnt nur für einfache Klemmen, etwa für die Formen, die wir in Abb. 45 und 46 dargeſtellt ſehen. Die in Abb. 45 gezeichneten Klemmen eignen ſich beſonders als ſogen. Apparateklemmen, d. h. zur Verbindung von Apparaten mit den den

Strom zuführenden Leitungen; ſie werden auf dem Grundbrett des betreffenden Apparats feſt montiert. Die Klemme A der Abb. 45 beſteht aus einer einfachen Meſſingkopfſchraube mit zwei daraufgeſchobenen Unterlegſcheiben. Unter der unterſten Scheibe wird der Apparatdraht befeſtigt (eventuell durch Verlötung), zwiſchen die untere und die obere Scheibe kommt die Außenleitung. Wird die Schraube ganz eingedreht, ſo preſſen ſich die beiden Scheiben feſt aufeinander und auf das Grundbrett und ſtellen ſo die Verbindung zwiſchen den beiden Drähten her. — Die Klemme B hat genau die gleiche Bauart, nur wird dabei ſtatt der Kopf- eine Öſenſchraube verwendet. — Die Klemme C beſteht aus einem rechteckigen Stückchen Kupfer- oder Meſſingblech von 1½—2 mm Stärke, 2 cm Länge und 1 cm Breite, das durch zwei Meſſingkopfſchrauben auf dem Grundbrett feſtgehalten wird. Die Apparatleitung, deren blankes Ende zweckmäßig in Öſenform zu biegen iſt, wird unter den Kopf der hintern, die ebenfalls am Ende mit einer Öſe verſehene Außenleitung unter den Kopf der vordern Schraube geſchoben. — Die Klemme D iſt eine Klemme mit Gegenſchraube. Um ſie herzuſtellen, braucht man einen kleinen Meſſingbolzen mit Metallgewinde und zwei dazu paſſenden Meſſingmuttern. Der Bolzen wird von unten her durch eine Bohrung des Apparatbretts geſteckt, der blanke Apparatdraht um den Kopf des Bolzens geſchlungen, dann die erſte Mutter von oben her auf das aus dem Grundbrett hervorragende Gewindeſtück geſchraubt, und zwar ſo weit, daß ſie den Bolzen unverrückbar am Grundbrett feſtklemmt. Darauf wird die zweite Mutter aufgeſchraubt und zwiſchen ihr und der erſten die Außenleitung eingeklemmt. — Die Klemme E beſteht aus einem Vförmig zuſammengebogenen Meſſingſtreifen, deſſen geſchloſſenes Ende mit Hilfe einer Meſſingholzſchraube auf dem Apparatbrett befeſtigt wird. Bevor man die Schraube ganz anzieht, klemmt man den Apparatleitungsdraht zwiſchen die beiden Backen ſo ein, wie es die Abbildung zeigt. Die beiden freien Schenkel des gefalteten Meſſingſtreifchens verſieht man dann mit je einer feinen Bohrung, durch die hindurch man eine

Öſenſchraube in das Grundbrett ſchraubt. Zieht man dieſe Schraube ſcharf an, ſo preßt ſie die freien Schenkel des Meſſingſtreifchens feſt zuſammen und verbindet dadurch den zwiſchen die beiden Streifenenden eingeführten Draht der Außenleitung ſicher mit der Leitung zum Apparat.

In Abb. 46 ſind drei Verbindungsklemmen dargeſtellt, wie man ſie zur Verbindung von zwei Leitungen benutzt. Die Klemme A beſteht lediglich aus einer recht eng gewickelten Spirale aus federndem Kupfer- oder Meſſingdraht. Man kann ſolche Spiralen über einem Bleiſtift leicht in jeder Länge wickeln, ſie dann abſtreifen und in paſſende Stücke von etwa 2 cm Länge zerſchneiden, die mit zwei kleinen Krampen auf Brettchen befeſtigt werden. Dieſe Befeſtigung kann aber auch unterbleiben, wenn man die Klemme etwa zur Verbindung von Elementanſchlußdrähten frei verwenden will. Die Enden der zu verbindenden Drähte, die natürlich blank und ſauber ſein müſſen, werden einfach in die Windungen der Spirale hineingeſchoben. Sie ſitzen darin, wenn die Windungen eng genug aneinanderliegen, ziemlich ſicher feſt. Für langdauernde Verbindungen wird man dieſe Klemmen natürlich nicht benützen, denn in ſolchen Fällen leiſtet eine Schraubenklemme beſſere Dienſte. Für kurzdauernde Verbindungen aber, bei denen es auf ſchnelle Herſtellung ankommt, iſt dieſe Spiralklemme ſehr gut verwendbar. — Die Klemme B iſt für Dauerverbindungen ſchon beſſer geeignet. Sie beſteht aus einem kleinen Holzpflock (es iſt gutes, aſtfreies Holz zu nehmen), den man an drei Seiten mit einem ſchmalen Streifen aus dünnem Meſſingblech belegt hat. Dieſer Meſſingſtreifen wird durch zwei in die Stirnſeiten eingeſchraubte Öſenſchrauben feſtgehalten, die gleichzeitig die zu verbindenden Drähte feſtklemmen. — Die Klemme C beſteht aus einem Meſſingbolzen, der beiderſeits ein kurzes Gewinde trägt, und vier Meſſingmuttern, die zu zweien an jeder Seite aufgeſchraubt werden. Die beiden innern Muttern werden bis zum Ende des Gewindes vorgeſchraubt; die äußern ſchraubt man dann dagegen, indem man gleichzeitig die zu verbindenden Drahtenden zwiſchen je ein Mutternpaar bringt.

Dieſe Klemmenform, die ſelbſt hohen Anſprüchen genügt, läßt ſich auch ſehr gut im Elementbau als Polklemme für plattenförmige Elektroden verwenden, wenn man die Klemme bis auf eine der äußern Muttern fertig montiert, das nur mit einer Mutter verſehene Ende durch das in der Elektrode befindliche Loch hindurchſteckt, dann die äußere Mutter aufſchraubt und ſo die Klemme ſicher an der Elektrode befeſtigt. Das freie Mutternpaar dient dann zum Abſchluß des Poldrahtes, deſſen freies Ende hernach ſeinerſeits durch eine gleiche Klemme mit der ungleichnamigen Elektrode des nächſten Elements oder mit der Außenleitung verbunden wird.

5. Schmelzſicherungen.

Schmelzſicherungen werden in der Elektrotechnik dazu verwendet, Apparate und Leitungen, die nur für Ströme beſtimmter Stärke berechnet ſind, vor der Einwirkung ſtärkerer Ströme, die die Drähte beſchädigen würden, zu ſchützen, und zwar dadurch, daß ſie den Strom ſelbſttätig unterbrechen, ſobald er aus irgendeinem Grunde zu ſtark wird. Zu ſtarke Ströme führen nämlich eine Erhitzung der ſtromführenden Drähte herbei, die ſich unter Umſtänden ſo weit ſteigern kann, daß der Draht ſchmilzt, die aber wohl auch nur die Iſolation zum Verkohlen bringt oder ähnliche Wirkungen ausübt. Faſt immer werden dadurch unerwünſchte Störungen im Betriebe verurſacht, denen man lieber vorzubeugen ſucht. Der Begriff des zu ſtarken Stroms ändert ſich natürlich in jedem einzelnen Falle. Haben wir z. B. eine Klingel, deren Wicklung für Ströme von höchſtens 0,5 Amp. Stärke berechnet iſt, in eine Leitung geſchaltet, ſo iſt ein Strom von 1 Amp. Stärke ſchon viel zu ſtark. Würde er in die Wicklung hineingelangen, ſo würde ſie ſicher zerſtört. Haben wir es aber mit einem Elektromotor zu tun, deſſen Wicklung für 5 Ampere Stärke berechnet iſt, ſo iſt erſt ein Strom von mehr als 5 Ampere zu ſtark.

Um nun Apparate und Leitungen (für die das gleiche gilt) beim Auftreten zu ſtarker Ströme zu ſchützen, ſchaltet man in die Leitungen als Teil des Leiters an paſſenden Stellen, z. B. dort,

wo Apparatzuführungen abzweigen, hinter den Batteriezuführungen, an den Verbindungsstellen von Außen- und Innenleitung, an den Zuführungen zur Schalttafel usw., Sicherungen ein. Sie bestehen im allgemeinen aus einem leicht schmelzbaren Metalldraht von hohem Widerstand, der durch die durch den Strom herbeigeführte Erwärmung schmilzt und dadurch die Leitung unterbricht, sobald der Strom eine bestimmte, für die Leitung selbst noch nicht gefahrbringende Stärke erreicht. Man benützt also in den Sicherungen gerade die Erscheinung des Durchschmelzens (daher der Name Schmelzsicherung) oder Durchbrennens, deren Auftreten man bei der Leitung selbst verhindern will.

Als Schmelzmetall für Sicherungen wird in der Praxis meistens Bleidraht verwendet. Dieses Material eignet sich auch für unsere Zwecke am besten, da es leicht und billig zu beschaffen ist. Die Stärke des Schmelzdrahts ist der jeweiligen Betriebsstromstärke anzupassen, und zwar wählt man den Bleidraht für Sicherungen so dick, daß er abschmilzt, sobald der Strom das Doppelte seiner normalen Stärke erreicht hat. Man hat diese Forderung in den kurzen Satz zusammengefaßt: Die Abschmelzstromstärke einer Sicherung soll das Doppelte ihrer Normalstromstärke sein. Die nachfolgende kleine Tabelle enthält die nötigen Angaben, bei welcher Stromstärke Bleidraht von bestimmtem Durchmesser schmilzt und welche Normalstromstärke also für die betr. Drahtstärke geeignet ist. Ebenso sind in der Tabelle Durchschnittspreise angegeben.

Tabelle der Normal- und der Abschmelzstromstärken für Bleidraht.

Durchmesser des Bleidrahts	Abschmelzstromstärke: Der Draht schmilzt bei einer Stromstärke von	Normalstromstärke Die Betriebsstromstärke soll höchstens betragen:	Durchschnittspreis für 100 g (Friedenspreis)
0,3 mm	1,5 Amp.	0,75 Amp.	70 Pf.
0,5 „	3 „	1,5 „	45 „
0,75 „	5 „	2,5 „	30 „
1 „	7,5 „	3,8 „	25 „
1,15 „	10 „	5 „	25 „
1,25 „	12 „	6 „	25 „

Dieſe Tabelle wird uns die Wahl des richtigen Schmelzdrahts in jedem einzelnen Fall ermöglichen, ſobald die Betriebsſtromſtärke, die die betreffende Leitung führt, bekannt iſt. Kennen wir dieſe Stromſtärke nicht, ſo müſſen wir ſie mit Hilfe eines Meßinſtruments (ſ. Kap. 7) beſtimmen.

Mit Strömen größerer Stärke als 5 oder 6 Amp. werden wir es bei unſern Verſuchen kaum je zu tun haben. Iſt das doch einmal der Fall, ſo iſt es beſſer, käufliche Stöpſelſicherungen zu verwenden, da dann die ſelbſtverfertigten Sicherungen nicht mehr ausreichen. Wir könnten zwar auch Sicherungen für 20 und mehr Ampere herſtellen, aber es iſt zu gefährlich, für ſo ſtarke Ströme einfache, ſelbſtgefertigte Hilfsmittel zu benutzen, und deshalb iſt es zweckmäßiger, in ſolchen Fällen die nötigen Leitungen, Schaltanlagen, Sicherungen uſw. unter Anleitung oder auf Grund der Angaben eines Fachmanns zu montieren. Ich ſehe daher hier von entſprechenden Ratſchlägen ganz ab.

Aus unſerer Tabelle ergibt ſich nun zwar der Durchmeſſer der zu verwendenden Abſchmelzdrähte, doch ſind darin keine Längenangaben gemacht. Über die Länge, die wir den Sicherungsdrähten zu geben haben, müſſen wir alſo noch ſprechen. Allzulang wird man den Sicherungsdraht nicht wählen, denn er erhöht dann den Widerſtand der Leitung zu ſtark. Zu kurz darf der Draht aber auch nicht ſein, ſonſt läßt er ſich ſchlecht montieren und auswechſeln. Im allgemeinen ſoll der Schmelzdraht etwa 250—350 mal die Länge ſeines eigenen Durchmeſſers haben, doch braucht man beim Abmeſſen nicht allzu heikel zu ſein, denn 1 cm mehr richtet ſchließlich auch keinen Schaden an.

Man kann die Sicherungen ſowohl nur in einen Leitungszweig, als auch in beide einſchalten. Im erſten Fall ſpricht man von einpoligen, im letzten von zwei- oder doppelpoligen Sicherungen. Will man ſehr vorſichtig ſein, ſo ſind doppelpolige Sicherungen anzuwenden; in den meiſten Fällen genügen aber für uns einpolige Sicherungen vollkommen.

Im allgemeinen iſt es gut, wenn wir jede Sicherung für ſich auf einem Grundbrett montieren, da wir ſie dann an

beliebigen Stellen verwenden können. Zweipolige Sicherungen erhalten natürlich nur ein Grundbrett. Schalttafelſicherungen pflegt man am oberen Rande der Schalttafel in einer Reihe nebeneinander anzuſchrauben. Man kann ſie dabei direkt auf die Schalttafel montieren, kann ſie aber auch zunächſt auf Grundbrettchen und damit auf der Schalttafel befeſtigen. Das zweite Verfahren iſt bequemer. Alle Sicherungen müſſen jederzeit bequem zugänglich ſein, damit ſie ſich ſchnell auswechſeln

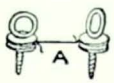


Abb. 47.

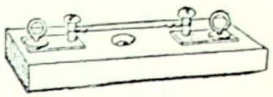


Abb. 48.

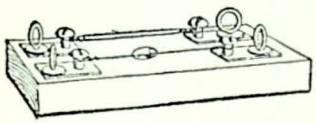


Abb. 49.

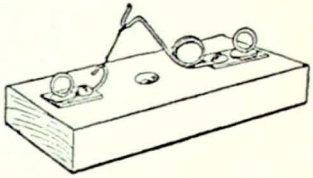


Abb. 50.

Abb. 47—50. Schmelzſicherungen verſchiedener Form.

laſſen, wenn ſie durchgeſchmolzen ſind. In verſteckten, winkligen Ecken wird man alſo keine Sicherungen anbringen.

Das Material für das Grundbrett kann verſchiedener Art ſein; es muß nur gut iſolieren. Paraffingetränktes, aſtfreies Holz reicht für die ſchwachen Ströme, mit denen wir arbeiten, vollkommen aus. Wer mehr tun will, wird das Brettchen mit Glimmer- oder Aſbeſtpapier bekleben. Zum Aufkleben dient eine dünne Schellacklöſung, mit der man das Holz vorher mehrmals überzieht.

Eine ganz einfache, einpolige Sicherung iſt in Abb. 47 wiedergegeben. Sie beſteht lediglich aus zwei Klemmſchrauben, zwiſchen denen der Schmelzdraht befeſtigt iſt. Man ſchraubt die beiden Klemmen in ein kleines Grundbrett ein, und zwar

ſo weit voneinander entfernt, daß der Schmelzdraht ſtraff geſpannt etwas über dem Grundbrett verläuft.

Dieſe Sicherung iſt allerdings nicht ſehr bequem im Gebrauch. Beſſer ſteht es in dieſer Hinſicht mit der in Abb. 48 dargeſtellten Form, einer ebenfalls einpoligen Sicherung. Aus 0,8—1 mm ſtarkem Kupfer- oder Meſſingblech ſchneidet man zwei rechteckige Scheibchen von etwa 2 cm Länge und 1 cm Breite aus. Jedes dieſer Scheibchen wird zweimal durchbohrt und dann mit einer Öſen- und einer Kopfſchraube an einer Schmalſeite des Grundbrettes, genau in der Mitte, befeſtigt. Die Entfernung jedes Scheibchens von der Brettkante iſt durch die Länge des Schmelzdrahtes gegeben. Die Öſenſchrauben ſollen, wie es die Abbildung zeigt, außen ſitzen. Sie müſſen eng in die Bohrung paſſen und ſind mit je einer Unterlegſcheibe zu verſehen. Die Kopfſchrauben dienen zur Befeſtigung des Schmelzdrahtes. Er darf das Grundbrett nicht berühren, ſondern muß ſeiner ganzen Länge nach etwa 2 mm davon entfernt bleiben. Man wählt den Schmelzdraht etwa 2—3 cm länger, als er ſein muß, und wickelt die überſtehenden Enden feſt um die Kopfſchrauben herum, ſo daß er ſtraff angeſpannt wird. Auf gute Verbindung des Schmelzdrahts mit den Kopfſchrauben iſt beſonders zu ſehen. Verwendet man Bleidraht, ſo muß man ihn an den Enden blank ſchaben. Da Blei ſich aber an der Luft ſchnell mit einer nicht leitenden Oxydſchicht überzieht, ſo tut man gut, den Schmelzdraht beiderſeits mit den Kopfſchrauben zu verlöten.

In Abb. 49 iſt eine zweipolige Sicherung der gleichen Art dargeſtellt. Der Abſtand der beiden Einzelſicherungen voneinander ſoll mindeſtens 1 cm betragen.

Wie wir eben hörten, überzieht jeder blanke Bleidraht ſich nach kurzer Zeit mit einer Oxydſchicht, wenn er der Luft ausgeſetzt iſt. Dieſe Oxydſchicht iſt ſchwer ſchmelzbar und nicht leitend. Sie kann zudem bei Sicherungen, die lange unbeſchädigt an ihrer Stelle bleiben, im Laufe der Zeit ſo ſtark werden, daß ſie einen förmlichen Schlauch bildet, der ſelbſt dann nicht zerreißt, wenn das noch vorhandene Blei bei zu

hoher Stromſtärke ſchmilzt. Der Schlauch hält in dieſem Falle vielmehr das geſchmolzene Blei zuſammen und ſichert alſo die Leitungsverbindung, die doch unterbrochen werden ſoll. Um dieſem Übelſtand vorzubeugen, hängt man in der Praxis häufig kleine Gewichte auf den Schmelzdraht, deren Zug die Oxydhülle zerreißt, ſobald der Draht durchſchmilzt. Wir können das gleiche Ergebnis auf einfachere Weiſe durch die in Abb. 50 dargeſtellte Federſicherung erreichen. Die beiden Anſchlußklemmen ſind aus den gleichen Einzelteilen zuſammengeſetzt, wie die Klemmen der in Abb. 48 gezeigten Sicherung, nur werden diesmal die Kopfſchrauben ganz in das Grundbrett eingeſchraubt, da ſie die beiden Meſſinghaken, zwiſchen denen der Schmelzdraht ausgeſpannt wird, feſthalten ſollen. Man biegt zunächſt den links ſichtbaren kleinen Haken aus federndem Meſſingdraht von etwa 0,8 bis 1 mm Durchmeſſer zurecht und befeſtigt ihn mit Hilfe der linken Kopfſchraube. Am beſten geſchieht dies dadurch, daß man den Draht an dem zu befeſtigenden Ende zu einer Öſe formt, durch die man die Schraube hindurchführt. Sitzt der Haken auch bei kräftig angezogener Schraube nicht recht feſt, ſo iſt es gut, ihn mit der Schraube zu verlöten. Für den Haken auf der rechten Seite der Sicherung iſt ein längeres Drahtſtück gleicher Stärke nötig. Man muß aber darauf achten, daß man harten, federnden Draht verwendet. Dieſes Drahtſtück wickelt man zunächſt drei- oder viermal feſt um einen Bleiſtift, ſo daß ſich eine federnde Spirale bildet, die den Draht zurückzieht, wenn das eine Ende feſtgehalten und das andere erſt hinuntergebogen und dann plötzlich losgelaſſen wird. Iſt die Spirale fertig, ſo formt man das kürzere Drahtende zu einer Öſe, durch die man die rechte Kopfſchraube ſteckt, um ſo den Draht zu befeſtigen, während man das freie Ende zu einem Haken biegt. Genügt die Kopfſchraube zur Befeſtigung nicht, ſo verlötet man auch hier den Draht mit der Klemmplatte. Der große Drahthaken ſoll ſenkrecht aufragen, ſolange der Schmelzdraht nicht eingeſpannt iſt. Um den Draht einzuſpannen, wickelt man ihn zunächſt feſt um den kleinen Haken und noch ein Stück um ſich ſelbſt,

biegt dann vorſichtig den Federhaken in die in der Abbildung gezeichnete Lage, ſchlingt den Schmelzdraht mehrmals um den Haken herum und wickelt ihn auch hier noch einigemal um ſich ſelbſt, damit er ſich nicht löſen kann. Der Abſtand der beiden Haken voneinander, alſo die freie Länge des Schmelzdrahtes, wird für die gewünſchte Abſchmelzſtromſtärke auf die uns bekannte Weiſe beſtimmt. Man kann die Drahtlänge übrigens beliebig ändern, je nachdem man den Federhaken ſtärker anzieht oder nicht. Die Wirkungsweiſe der Sicherung iſt ohne weiteres verſtändlich. Schmilzt der Sicherungsdraht, ſo ſchnellt die geſpannte Feder ſofort zurück und zerreißt dabei eine etwa vorhandene Oxydhülle ſicher, da ſie ſo ſtarkem Zug nicht widerſtehen kann. Daß man auch Sicherungen dieſer Art auf einem Grundbrett zu doppelpoligen Sicherungen vereinigen kann, wird kaum der Erwähnung bedürfen.

Fünftes Kapitel.

Widerſtände (Rheoſtaten).

In dieſem Abſchnitt wollen wir uns mit einer recht eigentümlichen Erſcheinung vertraut machen, mit der wir in der Praxis häufig zu tun haben, mit dem elektriſchen Widerſtand. Denken wir uns einmal ein hochſtehendes, mit Waſſer gefülltes Glas durch ein weiteres und ein engeres Rohr mit einem tiefer befindlichen Gefäß ſo verbunden, wie es Abb. 51 zeigt. Natürlich wird dann die Waſſermenge, die in dem dicken Rohr fließt, viel beträchtlicher ſein, und infolgedeſſen wird hier eine ſehr ſtarke Strömung herrſchen. Durch das zweite Rohr aber geht ein viel geringerer Waſſerſtrom. Der Grund dafür liegt darin, daß das engere Rohr dem Waſſer mehr Widerſtand bietet und ſich dem Abfluß ſtark widerſetzt. Der Widerſtand eines Rohres iſt alſo um ſo größer, je kleiner ſein Querſchnitt iſt. Aber es kommt auch noch ein anderer

Faktor in Frage, den uns Abb. 52 erläutern ſoll. Wir haben hier eine längere und eine kürzere Rohrverbindung zwiſchen den beiden Gefäßen. Beide Rohre haben den gleichen Querſchnitt. In welchem Rohr wird wohl hier die ſtärkere Strömung herrſchen? Die Antwort iſt nicht gerade ſchwer zu finden. Zweifellos wird das längere Rohr mehr Widerſtand bieten, und das kürzere als der gerade Weg auch der bequemſte ſein. So wird der ſtärkere Waſſerſtrom im kürzeren Rohr herrſchen,

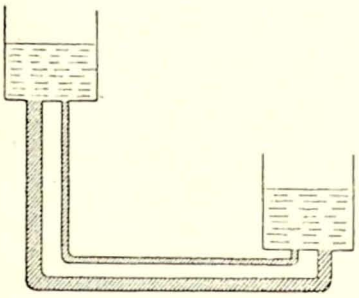


Abb. 51. Die beiden Gläſer ſind durch eine weite und eine enge Röhre verbunden, die beide ungefähr gleich lang ſind. Das weitere Rohr bietet dem abfließenden Waſſer weniger Widerſtand, nimmt alſo den größten Teil des Waſſers auf. Ebenſo iſt es bei der Elektrizität. Ein dicker Draht bietet dem Strom weniger Widerſtand als ein gleichlanger Draht von geringerer Dicke.

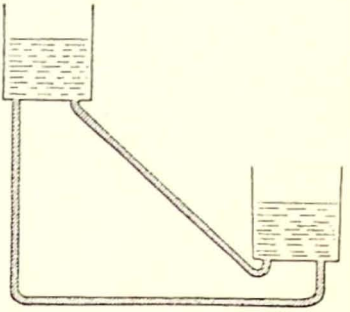


Abb. 52. Die beiden Gläſer ſind durch zwei gleichweite, aber verſchieden lange Rohre verbunden. Das kürzere Rohr bietet dem Waſſer weniger Widerſtand, führt alſo den größten Teil des fließenden Waſſers ab. Genau ſo iſt es bei der Elektrizität. Ein kürzerer Draht bietet dem Strom weniger Widerſtand als ein längerer von gleicher Dicke.

und wir erhalten als den zweiten Satz den, daß der Widerſtand eines Rohres mit ſeiner Länge wächſt.

Dieſe Erfahrungen können wir ohne weiteres auf den elektriſchen Strom übertragen. Verbinden wir die Pole eines galvaniſchen Elements durch einen ſehr dünnen Draht, ſo wird ſich dieſer Draht allmählich ſehr ſtark erwärmen. Stellen wir mit Hilfe eines Thermometers die in einer beſtimmten Zeit erreichte Temperaturerhöhung in Graden feſt und erſetzen wi dann den Draht durch einen noch dünneren aus dem gleichen Material, ſo wird die Temperaturzunahme bei dieſem Draht in der gleichen Zeit weſentlich geringer ſein. Da nun die

elektromotoriſche Kraft eines Elements, d. h. ſeine Spannung, unter allen Umſtänden gleich bleibt, können wir die verſchiedene Wärmewirkung des Stromes nur einer in beiden Fällen verſchiedenen Stromſtärke zuſchreiben. Und da ſich bei den Verſuchen nur der Querſchnitt des Leiters änderte, liegt der Schluß nahe, daß die Querſchnittänderung die Änderung der Stromſtärke hervorgerufen habe.

Hätten wir den gleichen Verſuch mit einem längeren und einem kürzeren Draht von gleichem Querſchnitt gemacht, ſo würden wir das gleiche Ergebnis zu verzeichnen haben. Der längere Leiter hätte ſich in der gleichen Zeit weniger ſtark erhitzt.

Beide Feſtſtellungen ſind Beweiſe dafür, daß jeder Leiter dem elektriſchen Strom einen Widerſtand entgegenſetzt, den wir treffend mit dem Reibungswiderſtand vergleichen können, den das Waſſer in einem langen, engen Rohr findet. Nun iſt hier aber noch ein dritter Faktor in Betracht zu ziehen, für den wir beim ſtrömenden Waſſer keine Vergleichsmöglichkeiten haben. Dem Waſſer iſt es ganz gleichgültig, ob es in einem Rohr aus Kupfer, Blei, Eiſen oder aus irgendeinem andern Stoff fließt. Der elektriſche Widerſtand aber hängt ſehr eng mit dem Material zuſammen, aus dem der Leiter beſteht. Kupferdraht leitet weit beſſer als Eiſendraht von gleichem Querſchnitt und von gleicher Länge, und Silber wieder leitet beſſer als Kupfer. So bietet alſo ein Silberdraht dem elektriſchen Strom weniger Widerſtand als ein Draht aus Kupfer, und dieſer weniger als ein Eiſendraht, immer natürlich Drähte gleicher Länge und gleichen Querſchnitts vorausgeſetzt.

Damit haben wir jetzt drei Faktoren, die auf den Widerſtand eines Leiters Einfluß haben: Die Länge des Leiters, ſeine Dicke und ſeine ſtoffliche Beſchaffenheit. Daraufhin können wir eine Maßeinheit für den Widerſtand feſtlegen. Denken wir uns einmal ein Element, deſſen elektromotoriſche Kraft 1 Volt beträgt und deſſen Pole ein ſehr langer und ziemlich dünner Draht verbindet. Unſeren früheren Feſtſtellungen nach wird dann ein ſchwacher Strom den Draht durch-

fließen, deſſen Stärke höchſtens nach Bruchteilen eines Amperes zu berechnen iſt. Verkürzen wir aber den Draht allmählich, ſo vermindert ſich der Widerſtand und die Stromſtärke wächſt. Dieſe Verkürzung führen wir ſo lange fort, bis die Stromſtärke gerade 1 A beträgt. Das wird, wenn wir einen Kupferdraht von 1 mm² Querſchnitt zur Verbindung wählen, der Fall ſein, wenn der Draht noch etwa 50 m lang iſt. Hätten wir einen Queckſilberfaden von gleichem Querſchnitt zur Verbindung genommen, ſo würde die Stromſtärke von 1 A bei einer Länge von 1,06 m erreicht werden. Der Widerſtand dieſes Queckſilberfadens von 1,06 m Länge und 1 mm² Querſchnitt nun oder auch der gleiche Widerſtand des 50 m langen Kupferdrahts von 1 mm² Querſchnitt bei 0° Celſius bildet die Widerſtandseinheit, das Vergleichsmaß, mit dem man hier mißt, und dieſe Widerſtandseinheit führt in der Elektrotechnik die Bezeichnung „Ohm“, zu Ehren eines deutſchen Phyſikers gleichen Namens.

Beſtimmen wir die Einheit nochmals mit Worten, ſo erhalten wir als knappes Ergebnis unſerer Überlegungen den Satz: Das Ohm iſt der Widerſtand eines Leiters, der beim Vorhandenſein einer elektromotoriſchen Kraft von 1 V einen Strom von 1 A durchläßt. Damit iſt eine Beziehung zwiſchen Ohm, Volt und Ampere aufgeſtellt, die man vielfach ausnutzen kann und die in der Elektrotechnik als Ohmſches Geſetz eine ſehr große Rolle ſpielt. Wir wollen uns hier ein wenig näher mit dieſem Geſetz befaſſen, da wir es ſpäter bei Berechnungen oft anwenden müſſen.

Wiederholen wir kurz die Kenntniſſe, die wir ſoeben erwarben, damit wir ſicher ſind, daß wir uns auch richtig verſtehen. Je geringer der Widerſtand, deſto ſtärker der Strom, vorausgeſetzt, daß die elektromotoriſche Kraft (Spannung) gleichbleibt. Verdoppeln wir die elektromotoriſche Kraft, etwa durch Hintereinanderſchaltung zweier Elemente, ſo läßt ſich durch Meſſung feſtſtellen, daß die Stromſtärke ſich ebenfalls verdoppelt, vorausgeſetzt, daß der Widerſtand gleichbleibt. Wird der Widerſtand jedoch größer, ſo ſinkt die Stromſtärke entſprechend. Hier

ſetzt das Ohmſche Geſetz nun zum erſtenmal ein, und zwar drückt es die Tatſache, die wir eben fanden, in einem knappen Satz folgendermaßen aus: Die Stärke des Stromes, der in einem Leiter fließt, nimmt mit dem Wachſen der Stromſpannung im gleichen Verhältnis zu, ſinkt aber mit zunehmendem Widerſtand. Bezeichnet man, wie es in der Praxis gebräuchlich iſt, den Widerſtand mit W, die Stromſtärke mit I und die Spannung mit E, ſo läßt ſich dieſer Satz auch durch die Gleichung

$$I = \frac{E}{W}$$

ausdrücken. Natürlich läßt ſich aus dieſer Gleichung bei zwei bekannten Größen immer die dritte berechnen. Beträgt z. B. die Spannung E eines Stromes 100 Volt, und iſt der Widerſtand des Leiters gleich 50 Ohm, ſo iſt der darin fließende Strom $I = 100 : 50 = 2$ Ampere ſtark. Weiter ergibt ſich durch einfache Anwendung der algebraiſchen Regeln, daß

$$E = I \cdot W$$

iſt. Man erhält alſo die Spannung eines Stromes, wenn man den Widerſtand des ſtromdurchfloſſenen Leiters mit der Stromſtärke multipliziert. Machen wir mit unſeren Zahlen die Probe, ſo ergibt ſich $E = 2 \cdot 50 = 100$ Volt, wie wir es vorher annahmen. Durch eine weitere Umſtellung finden wir auch noch eine Formel für den Widerſtand ſelbſt, denn es iſt

$$W = \frac{E}{I}.$$

Den Widerſtand eines Leiters erhält man alſo, wenn man die Stromſpannung durch die Stromſtärke dividiert. Die Formel ſagt hier das gleiche wie die Begriffsbeſtimmung, die wir oben gaben. Führen wir die Rechnung mit unſeren Zahlen aus, ſo ergibt ſich $W = 100 : 2 = 50$ Ohm. Das iſt die Zahl, von der wir ausgingen. Dieſe wenigen Beiſpiele laſſen die vielfache Anwendungsmöglichkeit des Ohmſchen Geſetzes deutlich erkennen; ſie veranſchaulichen auch ſchon die Wichtigkeit, die es für die Praxis hat, zumal ſein Geltungsbereich auf alle feſten und flüſſigen Leiter ausgedehnt iſt.

*

Die Beziehungen, die wir eben kennenlernten, ermöglichen es uns, die Stärke eines gegebenen Stromes beliebig zu ändern, indem wir den Widerſtand des Stromkreiſes, in dem der Strom fließt, erniedrigen oder erhöhen. Von dieſer Möglichkeit macht der Elektrotechniker in vielen Fällen Gebrauch, beiſpielsweiſe dann, wenn es ſich darum handelt, Apparate, die nur geringe Stromſtärken vertragen, an Stromquellen, die ſtarke Ströme liefern, anzuſchließen, oder wenn ein Apparat, etwa ein Motor, ein Induktor uſw., wahlweiſe mit ſchwächeren und ſtärkeren Strömen betrieben werden ſoll, damit man ſeine Leiſtungen beliebig abſtufen kann. Es iſt dazu nur nötig, den Widerſtand des Leitungskreiſes, um den es ſich handelt, veränderlich zu machen. Dazu benutzt man beſondere Apparate, die man Regulierwiderſtände oder Rheoſtaten nennt. Ihre Bauart iſt im einzelnen, wie wir noch ſehen werden, recht verſchieden. Im Prinzip aber gleichen ſie ſich ſämtlich, denn ſie enthalten alle mehrere Einzelwiderſtände, die ſo miteinander verbunden ſind, daß man ſie einzeln oder gruppenweiſe in den Stromkreis einſchalten kann. Dadurch läßt ſich die gewünſchte Stromregulierung ohne weiteres bewirken.

Wollen wir ſolche Regulierwiderſtände anfertigen, ſo müſſen wir zunächſt wiſſen, wie das Drahtmaterial beſchaffen ſein muß, das wir dazu brauchen. Können wir jeden beliebigen Draht verwenden oder eignen ſich beſtimmte Metalle beſſer als andere? Die Antwort darauf haben wir bereits auf S. 100 vernommen, denn dort hörten wir, daß der Widerſtand eines Drahtes *von ſeiner Länge, ſeiner Dicke und dem Stoff*, aus dem er beſteht, abhängt.*) Jedes Metall hat, wie man ſagt, einen *ſpezifiſchen Leitungswiderſtand*. Für die in der Elektrotechnik gebräuchlichen Metalle hat man die entſprechenden Zahlen berechnet; ſie beziehen ſich auf Drähte von 1 m Länge und 1 mm² Querſchnitt, deren Widerſtand man alſo als den ſpezifiſchen Widerſtand des betr. Metalls bezeichnet.

*) Der Leitungswiderſtand hängt in Wirklichkeit auch noch von der Temperatur ab. Dieſen Punkt können wir jedoch bei unſern Verſuchen vernachläſſigen.

In der folgenden Tabelle sind die spezifischen Widerstände der wichtigsten Metalle zusammengestellt.

Metall	Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge u. 1 mm² Querschnitt bei 15° C	Metall	Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge u. 1 mm² Querschnitt bei 15° C
Kupfer	0,016 Ohm	Nickel	0,13 Ohm
Aluminium	0,03 „	Blei	0,21 „
Messing	0,07 „	Neusilber	0,2—0,3 „
Platin	0,09 „	Nickelin	0,33—0,45 „
Eisen	0,11 „	Quecksilber	0,94 „

Tabelle der spezifischen Widerstände einiger Metalle.

Mit Hilfe dieser Tabelle können wir den Widerstand beliebig langer und beliebig dicker Drähte der darin genannten Metalle berechnen; wir brauchen dazu nur die Drahtlänge (in Metern) mit dem spezifischen Widerstand zu multiplizieren und das Produkt durch den Drahtquerschnitt (in □ Millimetern) zu teilen. Wollen wir beispielsweise wissen, wie groß der Widerstand eines Eisendrahtes von 6 m Länge und 3 mm² Querschnitt ist, so haben wir 6 mit 0,11 (dem spezifischen Widerstand des Eisens) zu multiplizieren und das Produkt 0,66 durch 3 (den Drahtquerschnitt) zu dividieren, um zu finden, daß der Draht einen Widerstand von 0,22 Ohm besitzt. Wollen wir wissen, welchen Widerstand ein 2 m langer Bleidraht von $\frac{1}{5}$ mm² Querschnitt dem Strom bietet, so haben wir $2 \times 0{,}21 = 0{,}42$ durch $\frac{1}{5}$ zu dividieren, also mit 5 zu multiplizieren, um als Ergebnis 2,10 Ohm zu erhalten.

Die Tabelle verrät uns aber auch noch etwas anderes. Sie sagt uns nämlich, daß es unpraktisch sein würde, Regulierwiderstände aus einem Material mit niederem spezifischem Widerstand, etwa aus Kupfer oder Aluminium, herzustellen, weil wir dann große Drahtlängen verwenden müßten, um hochwertige Widerstände zu erhalten. Wollten wir einen Widerstand mit 5 Spiralen von je 5 Ohm aus Aluminiumdrähten von 1 mm² Querschnitt konstruieren, so müßten wir für jede Spule $\frac{5}{0\,03} = 166$ m Aluminiumdraht verwenden, ein etwas

teures Vergnügen, ganz abgeſehen von dem Raum, den dieſe Drahtmenge einnimmt. Metalle mit ſo niedrigem ſpezifiſchem Widerſtand wie Kupfer, Aluminium, Meſſing, die ſogen. gute Leiter, verwendet man alſo zum Widerſtandsbau nicht. Man wählt vielmehr recht ſchlechte Leiter aus, um mit möglichſt geringen Drahtlängen auszukommen. Am ſchlechteſten leitet nach unſerer Tabelle das Queckſilber. Es würde ſich alſo für Widerſtände am beſten eignen. Dennoch benutzt man es im allgemeinen nicht, da man mit flüſſigem Metall ſchlecht hantieren kann. Am nächſten ſteht ihm in unſerer Tabelle das Nickelin, eine Legierung aus Kupfer, Zink und Nickel, die für Widerſtandszwecke beſonders angefertigt wird. Die Tabelle gibt für Nickelin zwei Widerſtandswerte an. Das hängt damit zuſammen, daß die Zuſammenſetzung der Legierung ziemlich ſtark wechſelt. Im allgemeinen wird man die höhere Ziffer annehmen können. Nickelindraht iſt bequem zu verarbeiten und auch nicht beſonders teuer, eignet ſich alſo für unſere Zwecke ausgezeichnet. Aus Nickelindrähten ſtellen wir daher unſere Regulierwiderſtände her, wenn es unſere Mittel eben erlauben (im andern Fall nehmen wir Eiſendraht, ſ. S. 107). Im allgemeinen kommen wir mit blanken Drähten aus, in ſeltenen Fällen kann jedoch auch einmal iſoliertes Drahtmaterial notwendig werden. Wir merken uns daher, daß es auch umſponnenen Nickelindraht gibt, der jedoch teurer iſt.

Ich brauche wohl nicht zu betonen, daß es nicht gerade nötig iſt, Nickelindraht von 1 mm² Querſchnitt für unſere Widerſtände zu verwenden. 1 Meter dieſer Drahtſtärke hat ja nur 0,45 Ohm Widerſtand, ſo daß wir für 5 Ohm ſchon über 11 m brauchen würden. Das iſt eine ziemlich große Menge, die wir ſtark verringern können, wenn wir dünneren Draht wählen. Nehmen wir z. B. Nickelindraht von 0,1 mm² Querſchnitt, ſo brauchen wir für 5 Ohm nur wenig über 1 m, denn 1 m Nickelindraht dieſer Stärke hat einen Widerſtand von $\frac{1 \times 0{,}45}{1/10}$ = 4,5 Ohm. Bei der Verwendung dünner Drähte müſſen wir allerdings darauf achten, daß wir den Widerſtand nicht mit

zu ſtarken Strömen belaſten, da die Drähte ſonſt durch die entſtehende Wärme ſchmelzen. Im allgemeinen darf eine freie Drahtſpirale höchſtens ſo warm werden, daß ſie ziſcht, wenn man ſie mit dem feuchten Finger berührt. Auf feſte Unterlagen gewickelte Drähte laſſen ſich etwas ſtärker beanſpruchen. Feſte Unterlagen ſollte man beſonders bei feinen Drähten ſtets verwenden, da ſie, wenn ſie freihängen, bei der Erwärmung ihre Form ſtark ändern, was zu Kurzſchlüſſen führen kann. Nie darf ein Widerſtandsdraht ſo ſtark belaſtet werden, daß er rotglühend wird, denn das iſt ein Zeichen, daß er dicht vor dem Durchſchmelzen ſteht. Der Strom iſt dann ſofort zu unterbrechen.

Die folgende Tabelle ſtellt die für die Anfertigung von Nickelinwiderſtänden nötigen Angaben zuſammen. Sie enthält neben dem Drahtquerſchnitt und dem zugehörigen Widerſtand für 1 m Drahtlänge den Drahtdurchmeſſer, das Drahtgewicht pro Meter, den Durchſchnittspreis für 100 g und die zuläſſige Dauerbelaſtung ſowie die Höchſtbelaſtung in Ampere. Außerdem iſt noch angegeben, bei welcher Drahtlänge die entſprechende Drahtſtärke genau 1 Ohm Widerſtand hat. Mit Hilfe dieſer Tabelle laſſen ſich Widerſtände beliebiger Größe ſchnell und bequem berechnen.

Querſchnitt in mm²	Durchmeſſer in mm	Widerſtand pro 1 m in Ohm	Länge pro 1 Ohm in m	Gewicht pro 1 m in g	Friedenspreis pro 100 g in Mark	Zuläſſige Dauerbelaſtung in Ampere	Höchſtbelaſtung in Ampere
0,007	0,10	57,0	0,017	0,06	1,80	0,1	0,3
0,03	0,20	14,3	0,04	0,28	1,50	0,3	0,9
0,07	0,30	6,3	0,16	0,61	1,20	0,6	1,8
0,12	0,40	3,3	0,30	1,09	1,10	0,9	2,7
0,19	0,50	2,3	0,44	1,71	1,00	1,2	3,6
0,28	0,60	1,6	0,63	2,42	0,95	1,6	4,8
0,38	0,70	1,17	0,86	3,30	0,90	2,0	6,0
0,50	0,80	0,89	1,12	4,33	0,85	2,5	7,5
0,62	0,90	0,71	1,41	5,5	0,85	3,0	9,5
0,78	1,00	0,57	1,75	6,82	0,80	3,5	10,5
3,14	2,00	0,14	7,7	28,0	0,80	10,0	30,0

Tabelle zur Anfertigung von Nickelindrahtwiderſtänden.

Erlauben es uns unſere Kaſſenverhältniſſe nicht, Nickelindraht anzuſchaffen, ſo können wir uns, wie geſagt, auch mit billigerem Eiſendraht behelfen. Dabei müſſen wir allerdings den Übelſtand mit in Kauf nehmen, daß der ſpezifiſche Widerſtand des Eiſens ſich mit der Temperatur ziemlich ſtark ändert. Kommt es uns alſo auf größere Genauigkeit an, ſo können wir Eiſenrheoſtaten nicht benutzen. Überall dort aber, wo dieſer Faktor nicht mitſpricht, und das wird bei uns wohl faſt immer der Fall ſein, leiſten ſie ganz gute Dienſte, wenn ſie auch größere Drahtlängen erfordern. Der Widerſtand eines Eiſendrahtes von 1 m Länge und 1 mm² Querſchnitt wurde in der Tabelle auf S. 104 angegeben. Die Widerſtände für andere Drahtſtärken und Längen laſſen ſich nach der auf der gleichen Seite beſprochenen Regel leicht berechnen.

* * *

Mit dieſen Kenntniſſen ausgerüſtet, können wir nun an den Bau von Regulierwiderſtänden herangehen, und zwar wollen wir zunächſt einige

Kurbelwiderſtände

verſchiedener Bauart beſprechen. Als Widerſtandseinheiten*) verwenden wir dabei entweder freie Drahtſpiralen (Abb. 53 A) oder auf Unterlagen (Kerne) gewickelte Drähte, wie wir ſie auf Abb. 53 bei C und D ſehen. Um freie Drahtſpiralen zu erhalten, wickeln wir Nickelin- oder Eiſendraht der in Frage kommenden Stärke**) um einen runden Holzſtab von etwa 1,3 cm Durchmeſſer, den wir am beſten für dieſen Zweck

*) Unter dem Begriff „Widerſtandseinheiten" verſtehen wir die einzelnen Drahtſpiralen, Drahtrollen uſw., deren Geſamtheit den Regulierwiderſtand bildet.

**) Die Zahl der Widerſtandsſpiralen, die für jede Spirale erforderliche Drahtlänge und die zu verwendende Drahtdicke müſſen natürlich genau feſtgelegt werden, bevor man den Bau eines Widerſtandes beginnt. Die entſprechenden Zahlen richten ſich einmal nach der geſamten Ohmzahl, die der Widerſtand haben ſoll, zum anderen nach den Widerſtandsabſtufungen, die man pro Spirale haben will.

beſonders herſtellen. Seine Länge richtet ſich nach der Länge der gewünſchten Spiralen. Im allgemeinen werden wir über 15—20 oder höchſtens 30 cm Spiralenlänge nicht hinausgehen. Ein etwa 35 cm langer Stab wird alſo auf alle Fälle genügen. Beim Wickeln müſſen wir beſonders auf die richtige Wicklungsbreite achten. Man verſteht darunter den Abſtand zweier Windungen voneinander. Die Wicklungsbreite iſt nämlich auf

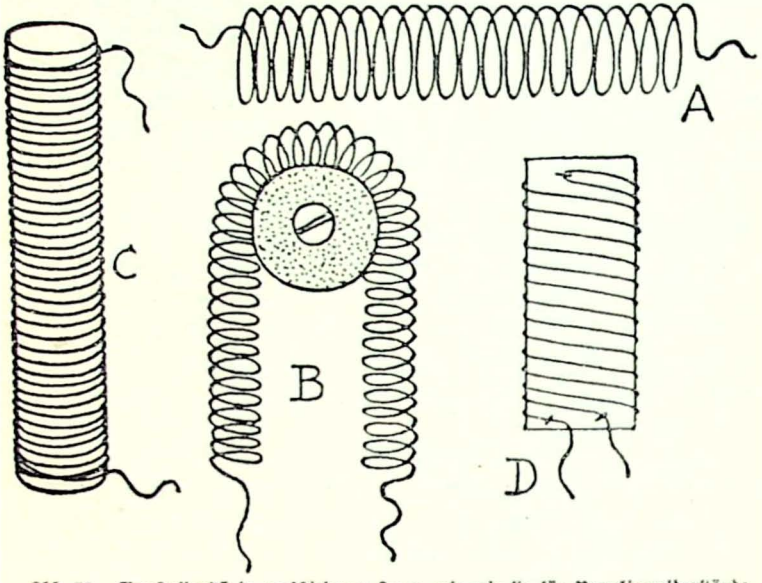


Abb. 53. Einzelwiderſtände verſchiedener Form, wie wir ſie für Regulierwiderſtände verwenden.

die Belaſtungsfähigkeit der Spirale von Einfluß. Spiralen von 1,3 cm Durchmeſſer, wie wir ſie wickeln wollen, werden am beſten ausgenützt, wenn der Abſtand zweier Windungen gleich dem doppelten Drahtdurchmeſſer iſt. Haben wir eine Spirale fertig gewickelt, ſo ſtreifen wir ſie vorſichtig vom Holzſtab herunter; ſie wird die ihr gegebene Form ohne weiteres behalten.

Um ſolche Drahtſpiralen in Widerſtänden zu verwenden, ſpannen wir ſie entweder frei in einen Rahmen ein, oder

hängen ſie ſo über einen Porzellankopf, wie es Abb. 53 B zeigt. Wir können ſie aber auch auf einen iſolierenden Kern ſchieben oder ſie gleich auf einen ſolchen Kern wickeln; Abb. 53 C gibt dafür ein Beiſpiel. Die Spirale wird dann oben und unten durch dünnen Bindedraht (iſolierten Kupferdraht) am Kern feſtgeſchnürt, ſo daß ſie nicht abrutſchen kann. Als Kernmaterial können wir, wenn es ſich nicht um Widerſtände handelt, die beim Stromdurchgang ſtark erhitzt werden, trockene, aſtfreie, mit einem Paraffin- oder Schellacküberzug verſehene Holzſtäbe verwenden. Im andern Falle müſſen wir ein unverbrennbares Kernmaterial wählen, das zugleich iſoliert. Empfehlenswert ſind Porzellan-, Ton-, Glas- oder gut emaillierte Metallrohre, die man kaufen kann. Wollen wir dieſe Ausgabe ſparen, ſo können wir uns auch mit Gipskernen behelfen, die wir aus einer Miſchung von 3 Teilen Gips mit 1 Teil Dextrin und dem nötigen Waſſer ſelbſt herſtellen. Der Kern darf in dieſem Fall nicht zu dünn und zu lang gemacht werden, da er ſonſt leicht zerbricht. 3 cm Durchmeſſer bei etwa 20 cm Länge ſind die geeignetſten Maße.

Iſt uns die Verwendung runder Kerne zu läſtig, ſo können wir unſere Widerſtandseinheiten ſchließlich auch noch nach Abb. 53 D auf Brettchen (15—20 cm Länge, 5—7 cm Breite und 1 cm Dicke) wickeln. Der Widerſtandsdraht wird doppelt genommen, oben mit einer kleinen Krampe befeſtigt und dann ſtraff um das Brett herumgelegt. Die beiden Drahthälften dürfen ſich natürlich nirgends berühren, man muß vielmehr ſorgfältig darauf achten, daß die Drähte überall gleichen Abſtand haben. Wenn man die Wicklung recht ſtraff anzieht, wird die Erfüllung dieſer Forderung keine Schwierigkeiten machen. Eventuell kann man ſich dadurch helfen, daß man die Schmalſeiten des Brettchens mit kleinen Einkerbungen verſieht; die Drähte ſind dann auch gegen Verſchiebungen gut geſichert. Die freien Drahtenden werden mit kleinen Krampen am Kernbrett befeſtigt.

Haben wir mehrere Widerſtandseinheiten fertig gewickelt, ſo können wir daran gehen, aus ihnen Regulierwiderſtände zuſammenzuſetzen. Dazu müſſen wir uns zunächſt darüber klar

werden, wie die Einzelwiderſtände miteinander zu verbinden ſind, damit wir ſie in beliebiger Anzahl in den Stromkreis ſchalten können. Abb. 54 wird uns dieſen Punkt erläutern. Die neun im Halbkreis angeordneten ſchraffierten Punkte ſtellen Kontaktknöpfe dar, über die eine um J drehbare Kurbel hingleitet. Kontakte und Kurbel bilden zuſammen einen Umſchalter (ſ. S. 85). H und I ſind zwei Klemmſchrauben beliebiger Bauart. An H wird der den Strom zuführende, an I der den Strom ableitende Draht gelegt. H iſt durch einen ſtarken iſolierten Kupferdraht mit dem erſten, I auf die gleiche Weiſe mit dem letzten Umſchalterkontakt verbunden. Von der Kurbel geht ebenfalls eine Verbindung zum erſten Kontakt. Die Verbindungen der Einzelwiderſtände mit den Kontakten und unter ſich ſind aus der Abbildung klar zu erkennen. Die Wicklungen der Spulen 1 und 2, 3 und 4, 5 und 6 ſind am untern, die Wicklungen der Spulen 2 und 3, 4 und 5 am obern Ende miteinander leitend verbunden. Kontakt 2 erhält dann durch den Draht A eine Verbindung mit dem Anfang der Spule 1, Kontakt 3 durch den Draht B mit der Verbindung der Spulen 1 und 2, Kontakt 4 durch den Draht C mit der Verbindung der Spulen 2 und 3 uſw. Schalten wir nun den Widerſtand ſo in einen Stromkreis, daß der Strom bei H ein-, bei I austritt und drehen wir die Umſchalterkurbel auf Kontakt 2, ſo fließt der Strom über den Draht A nacheinander durch ſämtliche Widerſtandsſpulen und dann über den Draht G zur Klemme I. Erweiſt ſich der dadurch in den Stromkreis eingeſchaltete Widerſtand als zu groß, ſo braucht man nur die Umſchalterkurbel einen Kontakt weiter zu drehen, um die erſte Spule auszuſchalten und den Strom über B gleich in die zweite eintreten zu laſſen. Drehen wir die Kurbel auf Kontakt 4, ſo wird auch die Spule 2 ausgeſchaltet uſw. Steht die Kurbel auf Kontakt 9, ſo iſt kein Widerſtand mehr in der Leitung; der Strom fließt dann direkt von H über J nach I. Drehen wir die Kurbel nun wieder nach links hinüber, ſo vermehren wir den Widerſtand allmählich bis zu ſeinem höchſten Wert. Steht die Kurbel aber auf Kontakt 1, ſo iſt die Leitung unterbrochen. Widerſtandsſpulen

und Umſchalter ſind auf einem gemeinſamen Grundbrett befeſtigt; die Verbindungsdrähte, für die man ſtarken, gut iſolierten Kupferdraht verwendet, läßt man möglichſt über die Rückſeite des Brettes laufen. Die Verbindung der Drähte A—G mit den Widerſtandsſpulen iſt durch Verlötung herzuſtellen.

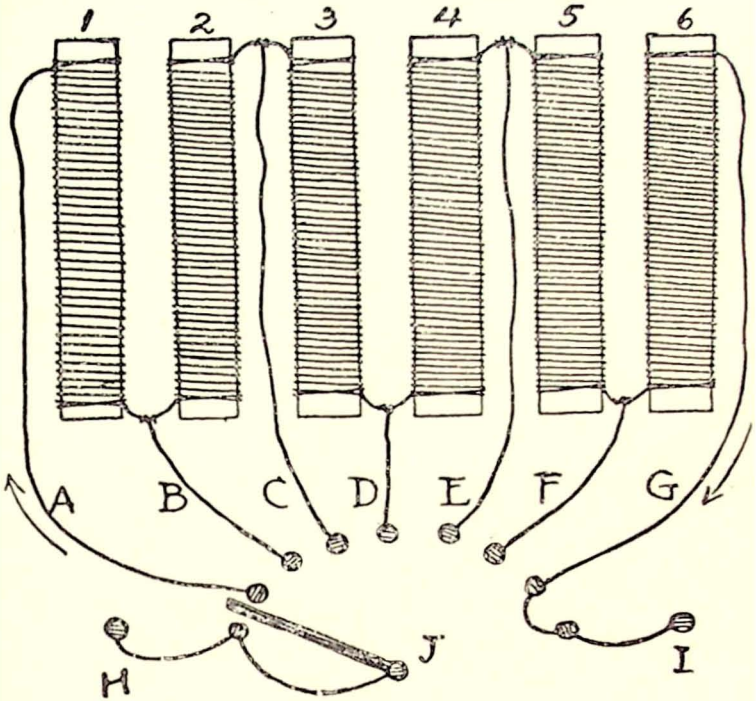


Abb. 54. Schaltungsſchema für Kurbelwiderſtände.

Nach dem gleichen Schaltungsſchema ſind auch die beiden Kurbelwiderſtände gebaut, die die Abb. 55 und 56 zeigen. Abb. 55 ſtellt einen Regulierwiderſtand aus vier auf Porzellanrollen aufgehängten Drahtſpiralen der in Abb. 53 B gezeigten Art dar. Die vier Porzellanrollen (käuflich als Iſolierrollen) ſind durch Meſſingſchrauben auf einem hölzernen Grundbrett befeſtigt, das mit Glimmer oder Fibre belegt ſein

kann. Die freien Enden der Spiralen werden durch kleine Krampen am Grundbrett festgehalten. Die Verbindung der Spiralen untereinander und mit den Umschalterkontakten, die hier aus kleinen, im Halbkreis angeordneten Messingplatten bestehen, ist aus der Abbildung klar ersichtlich. J ist der Drehpunkt der Umschalterkurbel, die der Übersichtlichkeit halber nicht gezeichnet ist.

Widerstandsspiralen aus stärkerem Draht, die frei gespannt werden sollen, lassen sich am besten nach dem Vorbild von Abb. 56 montieren, die die Rückseite des betreffenden Widerstandes zeigt. Der aus trockenen, astfreien Hartholzleisten von 2½ cm Dicke und 3½ cm Breite angefertigte Rahmen mißt 30 × 40 cm. Die Rahmenleisten werden an den Ecken sorgfältig verleimt und außerdem durch versenkte Messingschrauben miteinander verbunden. Die wagrecht eingespannten Drahtspiralen sind mit kleinen Krampen rechts und links zu befestigen und abwechselnd so miteinander zu verbinden, wie es die Abbildung zeigt. Die zum Umschalter gehenden Verbindungen werden aus starken isolierten Kupferdrähten hergestellt. Sie sind auf der Abbildung locker hängend gezeichnet, um die Schaltung recht deutlich zu machen, sollen aber in Wirklichkeit glatt auf den senkrechten Rahmenhölzern befestigt werden, so daß sie dem Blick völlig entzogen sind. Der Umschalter wird auf einem besonderen Brettchen montiert und damit an der unteren Rahmenleiste befestigt. Besondere Sorgfalt ist auf die richtige Verbindung der Umschalterkontakte mit den einzelnen Spiralen zu legen, damit nicht durch falsche Schaltung Kurzschlüsse entstehen. Der Strom soll bei A ein- und bei I austreten, nachdem er alle Spulen hintereinander durchflossen hat. Ist eine Spule unrichtig angeschlossen, so überspringt der Strom sie; der Widerstand hat dann nie seinen vollen Wert.

Bei einem so großen Widerstand wie dem vorliegenden müssen wir der Konstruktion des Umschalters besondere Aufmerksamkeit widmen, damit er auch starken Strömen gewachsen ist. Wir fertigen deshalb die Kurbel und die Kontakte aus besonders kräftigem Material an. Als Kurbel dient am besten

ein etwa 8 cm langer, 2 cm breiter Meſſingſtreifen von etwa 2 mm Dicke, der an dem einen Ende einen Porzellanknopf trägt, während das andere durchbohrt iſt. Der Porzellanknopf kann aus einer Iſolierrolle hergeſtellt werden, wie wir ſie für den in Abb. 55 dargeſtellten Widerſtand verwerteten. Zur Befeſtigung dient eine durch die Bohrung des Knopfes geſteckte Meſſingſchraube, die den Blechſtreifen durchſetzt und auf der Unterſeite vernietet oder verlötet wird. Als Kurbelachſe benutzt

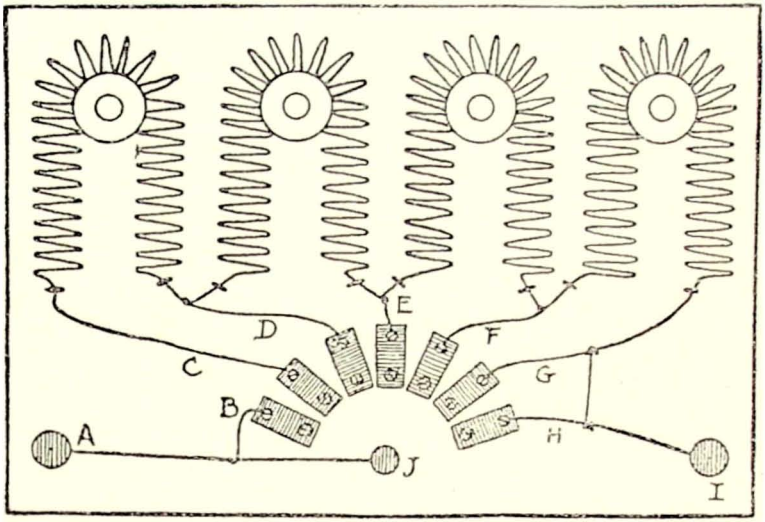


Abb. 55. Einfacher Kurbelwiderſtand mit auf Porzellanrollen hängenden Drahtſpiralen.

man eine Meſſingbolzenſchraube der in Abb. 56 A dargeſtellten Art, die mit dem freien Ende durch das in die Kurbel gebohrte Loch und eine Öffnung im Grundbrett geſteckt und an der Unterſeite des Brettes durch eine Mutter geſichert wird. Um das an der Brettunterſeite vorſtehende Bolzenende wird ein zu einer Schleife gebogener, vorn blank geſchabter, ſonſt aber gut iſolierter Draht gelegt (vgl. Abb. 56 B), der die Verbindung der linken Klemme mit der Kurbel bewirkt. Eine zweite Mutter klemmt den Draht feſt. Die Kontakte des

Umſchalters kann man aus gleichartigen Bolzen und Muttern herſtellen. Die Bolzenplatten liegen auf der Oberfläche des Grundbretts; die Muttern auf der Unterſeite nehmen die von den Spulen kommenden Drähte auf. Der Widerſtand wird

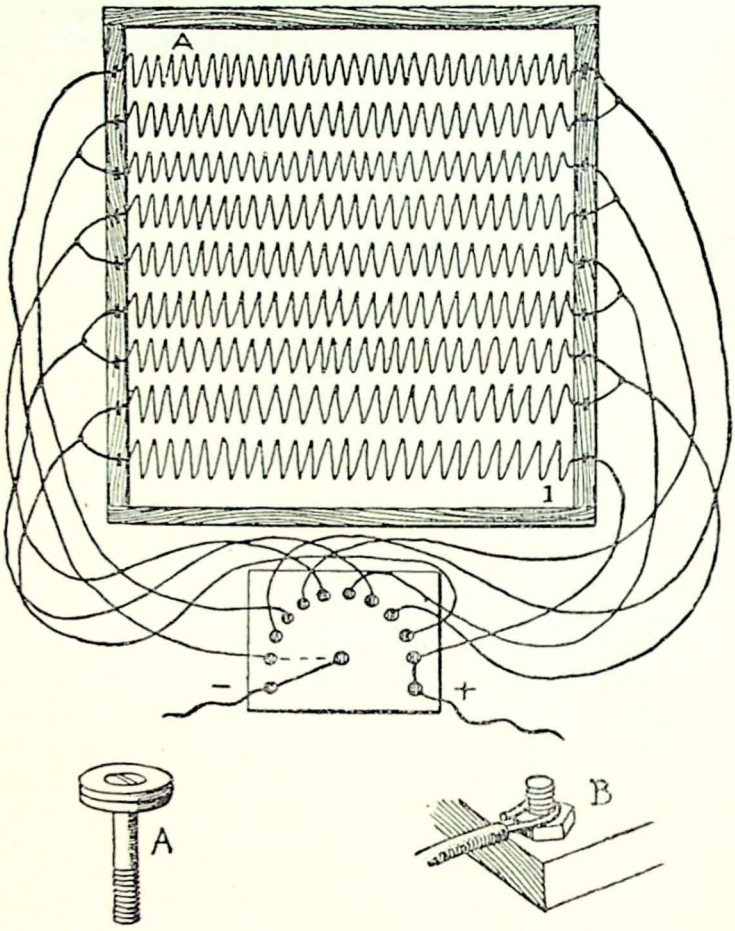


Abb. 56. Oben Schaltungsſchema für einen Kurbelwiderſtand mit frei geſpannten Spiralen und geſondertem Umſchalter; A Bolzenſchraube, wie wir ſie für den Umſchalter verwenden; B die Befeſtigung des Zuführungsdrahtes an den Umſchalterkontakten auf der Rückſeite des Grundbrettes.

beim Gebrauch entweder flach auf den Tiſch gelegt oder mit Hilfe zweier Öſen an die Wand gehängt.

* * *

Daß der Kurbelumſchalter kein unerſetzlicher Beſtandteil der Widerſtände iſt, zeigt Abb. 57. Wir haben darin einen Vertreter der ſog.

Stöpſelwiderſtände

vor uns, deſſen Konſtruktion dahin vereinfacht iſt, daß ſtatt der in der Praxis gebräuchlichen Stöpſelſchaltung, die wir mit

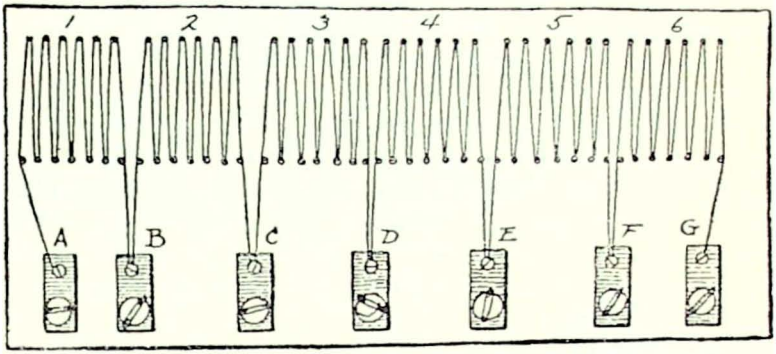


Abb. 57. Einfacher Regulierwiderſtand ohne Kurbelumſchalter.

unſeren Hilfsmitteln nicht leicht nachahmen können, eine Klemmenſchaltung verwendet wird, die ebenſogute Dienſte leiſtet. Um dieſen Widerſtand herzuſtellen, verſchaffen wir uns zunächſt ein 2 cm dickes Holzbrett von 35—40 cm Länge bei etwa 15 cm Breite. Auf dieſem Brett befeſtigen wir 7 Polklemmen der in Abb. 45 E dargeſtellten Form. Die räumliche Anordnung der Klemmen geht aus Abb. 57 hervor. Sodann kaufen wir $2\frac{1}{2}$—3 cm lange, dünne Drahtſtifte, die wir in geringen Abſtänden in zwei etwa 7 cm voneinander entfernten Reihen 1—$1\frac{1}{2}$ cm tief in das Grundbrett einſchlagen. Dabei iſt zu beachten, daß die Nägel der vorderen Reihe ſich mit der Mitte der Zwiſchenräume der hinteren Reihe decken müſſen.

Um dieſe Nägel wird der Widerſtandsdraht herumgeſchlungen, und zwar befeſtigt man das eine Ende an der Klemme A und führt dann den Draht über den erſten Nagel der Vorderreihe zum erſten Nagel der Hinterreihe, weiter zum zweiten Nagel vorn, zum zweiten Nagel hinten, zum dritten Nagel vorn uſw. Dabei faßt man je ſechs hintere und ſieben vordere Nägel zu einer Gruppe zuſammen, d. h. man führt den am ſiebenten Vordernagel angekommenen Draht nicht gleich zum ſiebenten Hinternagel, ſondern zunächſt zur Klemme B, und erſt von hier aus weiter. Ebenſo verfährt man in der Folge. Die Klemmen A—G werden dadurch in gleichen Abſtänden in den Widerſtand eingeſchaltet. Als Ergebnis unſerer Arbeit erhalten wir dann ſchließlich den in Abb. 57 dargeſtellten Apparat, der ebenſo einfach zu handhaben wie herzuſtellen iſt. Um ihn zur Stromregulierung zu benutzen, ſchließt man den ſtromzuführenden Draht an Klemme A, den ſtromableitenden an Klemme G an. Der Strom durchfließt dann den ganzen Widerſtand. Verbinden wir aber die Klemme A mit der Klemme B durch einen dicken, kurzen Kupferdraht,*) ſo fließt der Strom direkt durch dieſen Draht zur Klemme B, ſo daß alſo Spule 1 ausgeſchaltet iſt. Verbinden wir weiter durch gleiche Drähte (die wir in größerer Anzahl bügelförmig gebogen vorrätig halten) die Klemmen A und C, C und D, D und E uſw., ſo wird jedesmal eine neue Spule ausgeſchaltet, bis der Strom ſchließlich einen direkten Weg von A nach G hat, ſo daß er keine Spule mehr zu durchfließen braucht. Erſcheint uns die Verwendung ſolcher Drahtbrücken zu umſtändlich, ſo können wir auch ſo vorgehen, daß wir den ſtromzuführenden Draht wahlweiſe an die Klemmen A, B, C, D, E, F oder direkt an G anſchließen. Dieſes Verfahren geſtattet ebenfalls, beliebig viele Widerſtandsſpulen ein- und auszuſchalten. Der ſtromableitende Draht bleibt dabei feſt an G liegen. Selbſtverſtändlich ſteht nichts im Wege, die Zahl der zu jeder Spule gehörenden Drahtwindungen beliebig zu ändern, denn man

*) In der Praxis verwendet man ſtatt der Klemmen halbkreisförmig ausgebohrte Kupferſchienen, die man durch Stöpſel verbindet.

kann ebenſogut 2 oder 3, wie 10 oder 15 Einzelwindungen zwiſchen zwei Klemmen ſchalten. Ebenſo kann man die Spulenzahl beliebig vermehren oder verringern. Es empfiehlt ſich übrigens, verſchiedene Drahtdicken für die einzelnen Spulen zu benützen. Dabei bringt man den dickſten Draht ſtets auf Spule 1, den dünnſten auf der letzten Spule an.

* *
*

Alle Regulierwiderſtände, die wir bis jetzt kennenlernten, verwendeten Widerſtandsdrähte zur Stromregulierung. Drahtwiderſtände werden aber ſehr koſtſpielig, wenn man höhere Widerſtandswerte braucht. In ſolchen Fällen verwendet man daher beſſer

Kohlenwiderſtände,

denn der ſpezifiſche Widerſtand der Kohle iſt wohl hundert- bis hundertfünfzigmal ſo hoch als der des Nickelins. Kohlenwiderſtände ſetzt man am einfachſten aus kleinen Kohlenfadenglühlampen zuſammen, deren Faſſungen man nebeneinander auf ein Grundbrett ſchraubt. Abb. 58 läßt die richtige Anordnung erkennen. Die Lampen und die Faſſungen müſſen wir natürlich kaufen, wenn wir nicht irgendwo alte Lampen erwiſchen können, denn Kohlenfadenlampen werden jetzt vielfach ausgetauſcht. Als Faſſungen nehmen wir entweder Bügel- oder Bodenfaſſungen (Abb. 59 und 60), da dieſe Formen ſich am bequemſten auf einem Grundbrett befeſtigen laſſen. Jede Faſſung beſitzt zwei Anſchlußklemmen, die wir zur Verbindung der Lampen untereinander und mit dem vorn auf dem Grundbrett angeordneten, in der üblichen Weiſe gebauten Umſchalter benutzen. A und J ſind die Anſchlußklemmen. Sobald man die Lampen in die Faſſungen geſchraubt hat, iſt der Widerſtand zum Gebrauch fertig. Steht die in der Abbildung nicht gezeichnete Kurbel B auf C, ſo ſind alle Lampen in den Stromkreis geſchaltet; der Strom wird alſo ſtark geſchwächt. Dreht man die Kurbel dann nacheinander auf D, E, F uſw., ſo werden die dieſen

Kontakten entſprechenden Lampen nacheinander ausgeſchaltet, bis ſchließlich kein Widerſtand mehr im Stromkreis liegt, wenn die Kurbel den Kontakt I berührt.

Mit derartigen Lampenwiderſtänden kann man ſelbſt Starkſtrom von 110 oder 220 Volt, wie ihn unſere Lichtleitungen führen, auf ungefährliche Spannungen herunterbringen. Die

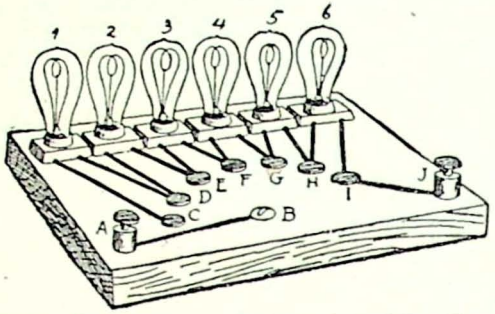


Abb. 58. Einfacher Lampenwiderſtand mit Kurbelregulierung.

Leitungszuführungen müſſen in dieſem Fall allerdings ſtark geſichert werden, auch darf der Widerſtand ſelbſt keine mangelhaften Kontakte oder dergleichen aufweiſen. Anlagen dieſer Art ſoll man daher nie ſelbſt herſtellen, ſondern ſtets einen Fachmann mit der Ausführung betrauen, wenn man überhaupt

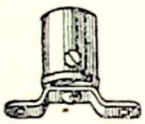


Abb. 59. Bügelfaſſung.

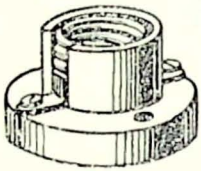


Abb. 60. Bodenfaſſung.

mit aus Starkſtromleitungen entnommenem Schwachſtrom arbeiten will, was ſich im allgemeinen der damit verknüpften Gefahren wegen nicht empfiehlt.

Beſtimmte Angaben über die Größe der zur Anfertigung ſolcher Widerſtände zu verwendenden Lampen laſſen ſich nicht machen. Es kommt dabei auf die Spannung und die Stärke

des zu regulierenden Stromes, sowie auf die gewünschte Endstromstärke an; man muß die entsprechenden Daten also in jedem einzelnen Fall besonders berechnen. Das Geschäft, von dem wir die Glühlampen und Fassungen beziehen, wird uns auf Wunsch dabei gern behilflich sein, wenn wir nicht selbst damit zurecht kommen.

* * *

Zum Schluß wollen wir noch eine Widerstandsgruppe besprechen, die leitende Flüssigkeiten als Widerstandsmaterial benützt. Man nennt sie aus diesem Grunde

Flüssigkeitswiderstände.

Die Widerstandsflüssigkeit besteht gewöhnlich aus Wasser mit einem Zusatz von Schwefelsäure, Kochsalz, Soda, Zinkvitriol oder Salmiak. In die Flüssigkeit tauchen Metallplatten (Elektroden), die die Stromzuführung vermitteln. Die Regulierung erfolgt durch Vergrößerung oder Verringerung des Elektrodenabstandes. Da durch verschiedene Mischungsverhältnisse ein Widerstand von Ohmbruchteilen bis zu tausend und mehr Ohm erzielt werden kann, hat man es ganz in der Hand, für jede Spannung und Stromstärke den passenden Widerstand herzustellen.

In Abb. 61 ist die einfachste Form eines Flüssigkeitswiderstandes dargestellt. Als Behälter für die Widerstandsflüssigkeit dient ein Glaszylinder, den man aus einer Glasflasche herstellen kann, wenn man es nicht vorzieht, ihn zu kaufen; das Absprengen der Glasflaschen sieht nämlich zwar auf dem Papier ganz leicht aus, ist in Wirklichkeit aber eine Kunst,

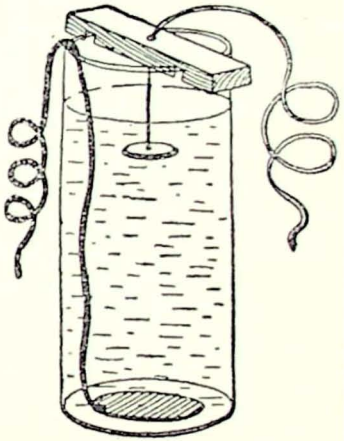


Abb. 61. Einfacher Flüssigkeitswiderstand.

die anſcheinend nur wenige beſonders glückliche Menſchenkinder recht verſtehen; mir iſt die Geſchichte beiſpielsweiſe nie gelungen. Doch geht Probieren über Studieren. Deshalb ſei das Rezept kurz mitgeteilt. Man ritzt die Flaſche dort, wo man ſie abſchneiden will, mit einer ſcharfen Feile ringsherum ein, legt in die entſtandene Nut einen weichen, ziemlich dicken Kupferdraht, macht einerſeits eine Würgſtelle, erhitzt dieſe mit einer Spiritus- oder Gasflamme und tröpfelt dann vorſichtig Waſſer auf den Draht, wobei man die Flaſche ziemlich ſchnell dreht. Das Glas ſoll dann der Nut nach ſpringen, ſo daß man die beiden Teile voneinander abheben kann. Hat man eine Flaſche auf die geſchilderte Weiſe zerſchnitten, ſo muß man die ſcharfen Kanten des zu verwendenden Teiles gut abfeilen, damit man ſich nicht daran ſchneidet, eine Arbeit, die ebenfalls viel Mühe macht. Bequemer iſt es alſo auf alle Fälle, käufliche Glaszylinder, ſog. Standgläſer, zu benutzen, deren Größe beliebig gewählt werden kann. Die Friedenspreiſe für einige gebräuchliche Größen ſind in der folgenden Tabelle angegeben.

Höhe in cm	15	15	15	15	16	16	18	18	20	20
Innendurchmeſſer in cm	2,5	4	5	8	4	6	3	5	4	7
Durchſchnittlicher Friedenspreis in Mark	0,30	0,30	0,40	0,60	0,40	0,50	0,35	0,45	0,40	0,60

Tabelle der Durchſchnittspreiſe (Friedenspreiſe) von Standgläſern.

Iſt die Gläſerfrage erledigt, ſo können wir weitergehen. Wir ſchneiden dann zunächſt eine kleine und eine größere runde oder viereckige Platte aus Zinkblech zurecht und befeſtigen an jeder einen gut iſolierten ſtarken Kupferdraht, deſſen Umſpinnung wir mit heißem Paraffin tränken, um ſie waſſerdicht zu machen. Die kleinere Scheibe hängen wir mit Hilfe ihres Drahtes an einem ſchmalen, in der Mitte durchbohrten Brettchen auf, das einige Zentimeter länger ſein muß, als unſer Glas breit iſt, da es hernach quer über die Öffnung des Glaſes gelegt wird, wie es Abbildung 61 zeigt. Damit es nicht

abrutſcht, ſchneidet man zweckmäßig zwei Nuten hinein, deren Breite der Wandſtärke des Glaſes entſpricht. Die größere Zinkſcheibe wird auf den Boden des Glaſes gelegt, das darauf mit einer ſchwachen Zinkvitriollöſung gefüllt wird. Statt der Zinkvitriollöſung kann man auch ſtark verdünnte Schwefelſäure oder eine ſchwache Kochſalzlöſung verwenden. Will man ſehr hohe Widerſtandswerte haben, ſo benutzt man reines Leitungs- oder Brunnenwaſſer, das von vornherein ſtets einige Salze gelöſt enthält (chemiſch reines Waſſer iſt ein abſoluter Nichtleiter). Schaltet man nun den Widerſtand ſo in die Leitung, daß der Strom durch die Bodenplatte ein- und durch die kleinere Platte austritt, ſo kann man ſeine Stärke beliebig regulieren. Bringt man die Platten zur Berührung, ſo wird der Widerſtand verſchwindend klein, der Strom erhält alſo faſt ſeine volle Stärke. Zieht man die bewegliche Platte ſo hoch empor, daß ſie nicht mehr in die Flüſſigkeit eintaucht, ſo wird der Strom unterbrochen.

Sechſtes Kapitel.

Galvanoſkope oder Stromzeiger.

Im Frühling des Jahres 1820 ſaß der däniſche Profeſſor der Phyſik Hans Chriſtian Oerſted in ſeinem Laboratorium in Kopenhagen und grübelte über die neuentdeckte Erſcheinungsform der Elektrizität, den elektriſchen Strom. Zwei Jahrzehnte früher hatte Volta ſeine galvaniſche Säule und bald darauf die erſten Becherelemente konſtruiert. Und nun beſchäftigte ſich die ganze wiſſenſchaftliche Welt fieberhaft mit Unterſuchungen über die galvaniſche Elektrizität, die ſich durch Drähte fortleiten ließ und die nimmer zu fließen aufhörte, ſolange der geſchloſſene Stromkreis beſtand. Hans Chriſtian Oerſted war durch die Erſcheinung der Fortleitung beſonders gefeſſelt worden und wollte ſie näher unterſuchen. Er hatte

daher den Drahtweg für den Strom in großen Schleifen durch ſein Laboratorium geführt, hier den Draht befeſtigend, da ihn auflegend, und nun ſaß er und ſtarrte auf die Gläſer nieder, aus denen die geheimnisvolle Kraft herausſtrömte, ſobald ein Druck auf eine kleine Taſte den Stromkreis ſchloß. Dann ſah er wohl auf nach langem Sinnen, hinaus in den dämmernden Abend, der die Stadt überfiel, und hin durch den ſtillen Raum, der die Werkzeuge ſeiner Forſchung barg. Langſam drückte die Hand wie im Spiel die Taſte nieder und in die Weite gingen die Gedanken des Forſchers, der vielleicht überlegte, was für Umwälzungen Voltas Entdeckung herbeiführen würde in der Menſchenwelt. Doch was war das! — Dort drüben am Fenſter ſtand ein Kompaß in ſeinem Gehäuſe, über das der Leitungsdraht achtlos hinweggeführt war. Und deſſen Nadel zuckte in heftigen Schwingungen hin und her. Der Gelehrte ſtand auf, um nachzuſehen. War's eine Täuſchung der Augen geweſen, ein Trug der Sinne? Jetzt ſchwebte die Nadel ſtill und ruhig über dem weißen Grund, als wenn ſie nichts ſtören und rühren könne. Doch Chriſtian Oerſted war ein echter, rechter Forſcher. Er hatte geſehen, daß die Nadel ſich rührte, das ſtand für ihn feſt. Die Wirkung war dageweſen, als er drüben am Tiſche vor ſeinen Elementen ſaß und die Taſte drückte. So galt es zuerſt, dieſe Bedingungen wieder zu erfüllen, um von da aus dann weiter zu ſehen. Der Forſcher ging alſo zurück zum Arbeitstiſch und ſetzte ſich nieder wie vorher. Noch regte ſich nichts im Nadelgehäuſe, und unbeweglich ſtand die dünne Eiſenſchneide über dem mattſchimmernden Rund. Jetzt drückte der Finger langſam die Taſte nieder, die den Stromkreis ſchloß. Da — ein förmlicher Ruck riß den Forſcher vom Stuhl empor: ſchon wieder tanzte die Nadel hin und her! Alſo der Strom, der elektriſche Strom war die bewegende Kraft! Und langſam drückte die Hand wieder und wieder die Taſte, und immer folgte die Nadel drüben gehorſam dem Druck. Jeder Stromſtoß lenkte ſie ab, und das Aufhören des Stromes ließ ſie zurückgehen in ihre Ruhelage. Hans Chriſtian Oerſted hatte als erſter eine

Beziehung zwiſchen Elektrizität und Magnetismus entdeckt und damit ein neues großes Gebiet der Forſchung erſchloſſen.

Die wichtigſten Tatſachen, die er fand, laſſen ſich folgendermaßen formulieren: Wenn man über eine freiſchwebende Magnetnadel parallel zu ihr einen Draht hinführt, durch den ein elektriſcher Strom fließt, ſo wird die Nadel aus ihrer Ruhelage abgelenkt. (Abb. 62.) Sie ſucht ſich dann ſenkrecht zum ſtromführenden Draht zu ſtellen, und zwar geht der Nordpol der Nadel nach Oſten, wenn der Strom oberhalb der Nadel von Norden nach Süden fließt. Läßt man den Leiter

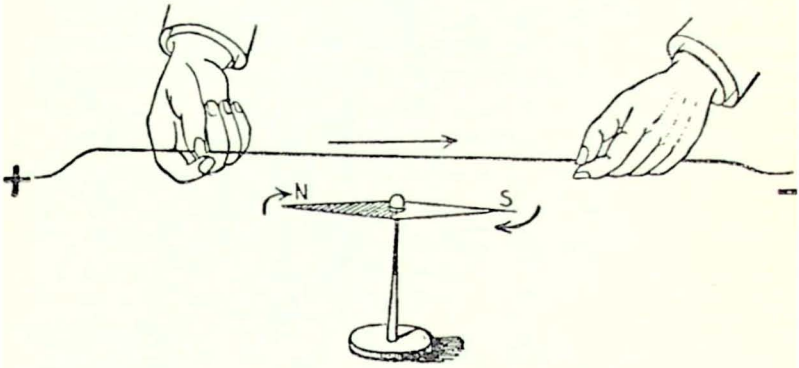


Abb. 62. Schematiſche Darſtellung der Oerſtedſchen Entdeckung über den Zuſammenhang zwiſchen Elektrizität und Magnetismus: Eine Magnetnadel wird durch einen elektriſchen Strom, der in einem parallel zu ihr geführten Draht fließt, aus ihrer Ruhelage abgelenkt.

über der Nadel, kehrt aber die Stromrichtung um, ſo ſchlägt der Nordpol nach Weſten aus. Führt man den Draht unter der Nadel her, ſo ruft der von Norden nach Süden fließende Strom eine Ablenkung des Nordpols nach Weſten und der umgekehrt gerichtete eine Ablenkung nach Oſten hervor. Daß Geſetzmäßigkeiten in dieſen Angaben liegen, erkennt man auf den erſten Blick. Aber die Faſſung iſt zu verwickelt, als daß man ſie ſich ſo merken könnte, deshalb gab man der Regel bald die klarere Form, die in Abb. 63 bildlich dargeſtellt iſt, und die wir in folgende Worte kleiden: Legt man die rechte Hand ſo auf den ſtromdurchfloſſenen Draht, daß der Strom

an der Handwurzel ein- und an den Fingerſpitzen austritt, und daß die innere Handfläche der Nadel zugekehrt iſt, ſo dreht ſich der Nordpol der Nadel nach der Seite des Daumens hin. Die Beobachtung zeigt uns, daß dieſe Rechte-Hand-Regel immer zutrifft, auch wenn der Strom um die Magnetnadel vollſtändig herumführt, ſei es einmal oder in mehreren Windungen. Im letzten Fall wirken alle Windungen übereinſtimmend auf die Nadel ein; ſie unterſtützen ſich alſo gegenſeitig bei der Ablenkung. Die Geſamtwirkung iſt dabei gleich der Summe aller Einzelwirkungen.

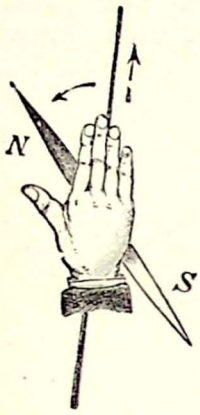


Abb. 63 Schematiſche Darſtellung der Regel, nach der die Ablenkung einer Magnetnadel durch einen parallel zu ihr verlaufenden elektriſchen Strom erfolgt.

Dieſe ablenkende Wirkung des elektriſchen Stromes auf eine Magnetnadel, deren Urſache darin liegt, daß ſich ein ſtromdurchfloſſener Draht genau wie ein Magnet verhält, wird in der Praxis zum Nachweis des Vorhandenſeins von elektriſchen Strömen, ſowie ihrer Richtung und ihrer ungefähren Stärke benutzt. Man verwendet dabei beſondere Apparate, die man Galvanoſkope oder Stromzeiger nennt.

Im Prinzip iſt ein Galvanoſkop nichts anderes als eine Magnetnadel, die innerhalb einer Drahtſpule drehbar befeſtigt iſt. Daraus ergibt ſich bereits, daß der Bau eines ſolchen Inſtruments nicht ſehr ſchwierig iſt. In der Tat können wir uns ein einfaches, allerdings nicht ſehr empfindliches Galvanoſkop mit ſehr geringer Mühe herſtellen, wenn wir einen nicht zu kleinen Kompaß nehmen und die ſtromführende Leitung darüber und darunter hinwegführen, ſo daß der Kompaß alſo in einer Drahtſchleife liegt, wie es Abb. 64, die die Prüfung eines Trockenelements mit einem ſolchen Galvanoſkop veranſchaulicht, zeigt. Empfindlicher wird das Inſtrument, wenn wir die Zahl der um die Nadel geführten Drahtwindungen vermehren, alſo den ſtromführenden Draht ein paarmal um

das Kompaßgehäuſe herumwickeln, da ſich, wie wir bereits hörten, die Einzelwindungen gegenſeitig unterſtützen. Die magnetiſche Kraft einer ſtromdurchfloſſenen Spule hängt aber nicht nur von der Zahl der Windungen, ſondern auch von der Stromſtärke (der Amperezahl) ab, die durch die Windungen fließt. Da nun die Größe der magnetiſchen Kraft die Größe des Nadelausſchlages bedingt, verſieht man ein Galvanoſkop, das ſchwache Ströme nachweiſen ſoll, mit zahlreichen Windungen dünnen Drahtes, während ein für ſtarke Ströme beſtimmtes Galvanoſkop nur wenige Windungen dicken Drahtes zu erhalten braucht. Der Erfolg iſt in beiden Fällen gleich, da ſtets das Produkt der beiden Faktoren, die Zahl der Amperewindungen, wie man ſagt, die Wirkung beſtimmt. Die jeweils zu verwendende Drahtſtärke wird durch die höchſte Stromſtärke bedingt, die das Inſtrument durchfließen ſoll. Wir werden im allgemeinen mit Draht von 0,5 bis 1 mm Durchmeſſer auskommen. Nur bei Galvanoſkopen, die zur Feſtſtellung ſehr ſchwacher Ströme dienen ſollen, müſſen wir bis auf 0,1 mm heruntergehen. In allen Fällen iſt gut iſolierter, chemiſch reiner Kupferdraht zu verwenden. Am beſten eignet ſich ein- oder zweimal mit Seide umſponnener Draht, der allerdings teuer iſt. Die Verwendung ſeidenumſponnener Drähte empfiehlt ſich überall da, wo es darauf ankommt, große Drahtmengen auf kleinem Raum unterzubringen, und dort, wo man auf gutes Ausſehen der Apparate Wert legt. Beides iſt bei Galvanoſkopen der Fall. Da wir zudem nicht allzu große Drahtlängen brauchen, wird man die größern Koſten meiſt gern in

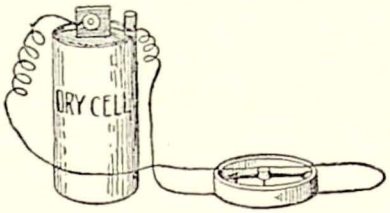


Abb. 64. Ein Kompaß als Galvanoſkop.

den Kauf nehmen. Billiger und ebenfalls brauchbar iſt zweimal mit Baumwolle umſponnener und dann ſchellackierter Draht. Wachsdraht oder dergl., wie er für Klingelleitungen benutzt wird, eignet ſich für Galvanoſkope nicht. Man muß beim Kauf vielmehr ausdrücklich chemiſch reinen Kupferdraht für Galvanoſkope verlangen, der meiſt unter dem Namen „Dynamodraht" geführt wird.

* * *

Der oben beſchriebene, aus einem Kompaß hergeſtellte Stromanzeiger eignet ſich nur für vorübergehenden Gebrauch. Zum Dauergebrauch fertigen wir uns beſſer ein beſonderes Inſtrument an, das wir mit Hilfe zweier Klemmſchrauben in jeden beliebigen Stromkreis einſchalten können. Ein ſehr praktiſches, leicht herſtellbares Galvanoſkop zeigt die Abb. 65. Wir wickeln 10—15 m umſponnenen Kupferdraht von 0,5—1 mm Durchmeſſer ſo um das untere Ende eines zylindriſchen Waſſerglaſes, daß das Glas auf 2 cm Breite von dicht neben- und übereinanderliegenden Windungen bedeckt iſt. Anfang und Ende des Drahtes ſollen je 10 cm frei herunterhängen. Die fertige Drahtſpule ſtreift man vorſichtig vom Glaſe ab, umwindet ſie an vier oder mehr Stellen mit ſeidenen Fäden, die man feſt verknotet, ſo daß die einzelnen Windungen nicht auseinanderfallen können, drückt den entſtandenen Reif etwas zuſammen, ſo daß er eine Ellipſe bildet und befeſtigt ihn ſchließlich nach Abb. 66 mit Paraffin oder durch einen kleinen Meſſingbügel auf einem rechteckigen Hartholzbrett.

Zur Anfertigung der Magnetnadel verſchaffen wir uns einige 3—4 mm breite blaue Uhrfedern als Ausgangsmaterial, von denen wir Stücke der richtigen Länge (40—60 mm) mit der Blechſchere abſchneiden. Dieſe Stücke werden beiderſeits ſo zugeſpitzt, wie es Abb. 67 A zeigt. Das Zuſpitzen hat nur den Zweck, das Gewicht der Nadel zu vermindern, da ein Galvanoſkop um ſo beſſer arbeitet, je leichter die Nadel iſt. Hat man die Nadel geformt, ſo muß man ſie mit einem Hütchen verſehen, auf dem ſie ſich hernach drehen kann. Am einfachſten

iſt es, den Stahlſtreifen nahe der Mitte zunächſt zweimal umzubiegen (die beiden äußeren Linien in Abb. 67 A zeigen die richtigen Stellen), ihn dann auf einen Hartholzblock zu legen, genau in der Mitte einen kleinen Meißel mit nicht zu ſcharfer Schneide aufzuſetzen und den Streifen durch einen nicht zu kräftigen Hammerſchlag V-förmig einzukerben, ſo daß er, von der Seite geſehen, die in Abb. 67 B gezeichnete Form erhält. Legt man die Nadel hernach mit dieſer Einkerbung auf eine ſcharfe, ſenkrechtſtehende Spitze (eine Nähnadel oder dergl.), ſo bleibt die Nadel, richtige Gleichgewichtsverteilung vorausgeſetzt, darauf liegen und dreht ſich darauf, ohne herunterzufallen. — Etwas empfindlichere Nadeln erhält man, wenn man den zurecht-

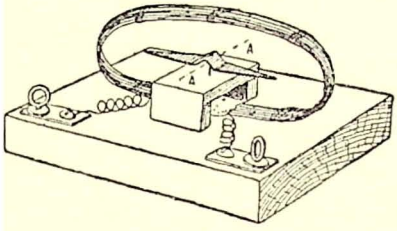


Abb. 65. Einfaches Galvanoſkop.

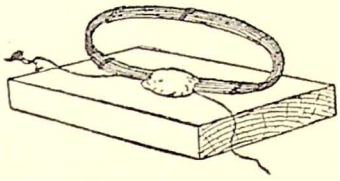


Abb. 66. Die Drahtſpule des in Abb 65 gezeigten Galvanoſkops und ihre Befeſtigung auf dem Grundbrett.

geſchnittenen Stahlſtreifen genau in der Mitte mit einem glasharten Stahlbohrer oder einer ſcharf abgebrochenen Feile unter ſteter Benetzung der Bohrſtelle mit einer Löſung von Kampfer in Benzin oder Terpentinöl recht fein durchbohrt, auf die Öffnung ein Stückchen Meſſing legt (deſſen Enden um die Federkanten geſchlagen und hier feſtgehämmert werden) und in dieſes Meſſingblech mit einem Nagel durch vorſichtiges Klopfen eine kleine Vertiefung eintreibt, in die hernach die Spitze der Achſe eingeſetzt wird.

Nun kommt die Herſtellung der Tragvorrichtung für die Nadelachſe. Am einfachſten wäre es, die Achſe durch den die Wicklung haltenden Paraffinklumpen hindurch in das Grundbrett zu treiben und die Nadel auf die freie Spitze zu legen. Dabei könnten wir jedoch die Umſpinnung des Drahtes be-

ſchädigen und Kurzſchluß im Innern der Wicklung hervorrufen, der das Inſtrument unbrauchbar machen würde. Man tut deshalb beſſer daran, aus drei kleinen Holzbrettchen eine Art Brücke zu bauen, wie wir ſie in Abb. 65 A ſehen, und in deren Mitte eine feine Nähnadel einzuſchlagen, die genau ſenkrecht ſtehen muß. Dabei iſt darauf zu achten, daß die Nadel nicht durch das Brettchen hindurchdringt. Auf die Spitze dieſer Achſe wird ſchließlich die Nadel gelegt, die man inzwiſchen magnetiſiert hat. Das Magnetiſieren kann durch Beſtreichen mit einem Dauermagneten geſchehen; einfacher aber iſt es, wenn man die Nadel in das Innere einer engen Spule aus iſoliertem Draht legt, die man durch Aufwickeln des Drahtes auf einen Bleiſtift erhält, und durch dieſe Drahtſpule längere Zeit einen ſtarken Strom ſchickt. Bleibt die auf die Spitze der Achſe gelegte Nadel nicht im Gleichgewicht, ſo ſtutzt man ſie mit einer Feile zurecht, bis ſie ſich auf der Achſe dreht, ohne herunterzufallen oder ſich ſtark zu neigen. In der Ruhelage muß die nordſüdlich zeigende Nadel parallel zur Wicklung ſtehen. Durch Verſchieben oder Drehen der ja nur loſe befeſtigten Wicklung läßt ſich dieſe Bedingung leicht erfüllen. Bringt man zum Schluß noch an den beiden vorderen Enden des Grundbretts zwei einfache Klemmſchrauben an, die man mit den ſpiralig gerollten Enden der Wicklung verbindet, ſo iſt unſer Galvanoſkop fertig. Es kann hernach in jeden Stromkreis eingeſchaltet werden, der auf das Vorhandenſein elektriſcher Ströme geprüft werden ſoll. Durchfließt ein Strom die Wicklung, ſo ſchlägt die Nadel aus und ſucht ſich ſenkrecht zu ihrer Ruhelage zu ſtellen. Die punktierte Linie AA in Abb. 65 deutet das an. Aus der Größe des Ausſchlags laſſen ſich Schlüſſe auf die Stärke des die Windungen durchfließenden Stromes ziehen, da ein ſchwacher Strom bei gegebener Windungszahl einen geringeren Ausſchlag hervorruft als ein ſtarker. Unterbricht man die ſtromführende Leitung, ſo kehrt die Nadel in die Ruhelage zurück, weil das

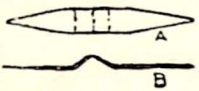


Abb. 67. Selbſtangefertigte Magnetnadel (ſtark verkleinert).

Magnetfeld der Wicklung im gleichen Augenblick, in dem der Strom ausgeschaltet wird, verschwindet.

Das beschriebene Galvanoskop läßt sich u. a. gut als Stromrichtungszeiger in Akkumulatorenanlagen verwenden, da ja der Nadelausschlag mit der Richtung des Stromes (Ladung, Entladung!) wechselt. Braucht man das Galvanoskop zur Ermittlung von Strömen unbekannter Stärke, so sind in die Zuführungen stets Abschmelzsicherungen einzuschalten, damit die

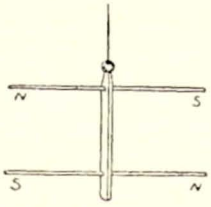


Abb. 68. Ein astatisches Nadelpaar.

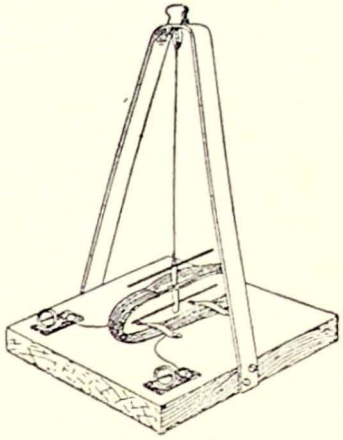


Abb. 69. Einfaches Galvanoskop mit astatischen Nadeln.

Wicklung nicht beschädigt wird, wenn der Strom für das Instrument zu stark ist.

Man kann die Empfindlichkeit jedes Galvanoskops noch dadurch erhöhen, daß man nicht eine einfache Magnetnadel, sondern ein sogenanntes astatisches Nadelpaar (Abb. 68) verwendet, das aus zwei gleich großen und gleich stark magnetisierten Nadeln besteht, die fest miteinander verbunden und mit geringem Zwischenraum parallel übereinander so angeordnet sind, daß der Nordpol der einen Nadel über dem Südpol der andern liegt. Ein solches Nadelsystem wird vom Erdmagnetismus nicht beeinflußt. Das Nadelsystem stellt sich also nicht mehr in die Nordsüdrichtung ein, sondern ist unstetig oder

aſtatiſch. Mit ſolchen Nadelſyſtemen kann man Galvanoſkope bauen, die äußerſt empfindlich ſind, weil der Strom bei ihnen nicht mehr die ihm bei einfachen Nadeln entgegenwirkende erdmagnetiſche Kraft zu überwinden hat, die die Nadel in der Nord-Süd-Richtung zu halten ſtrebt. Die Empfindlichkeit läßt ſich durch Verwendung recht dünner Nadeln, die man zur Verringerung der Reibung an Seidenfäden aufhängt, ſowie durch Drahtſpulen mit vielen Windungen noch weiter erhöhen. Auf dieſe Weiſe kommt man zu Galvanoſkopen der in Abb. 69 dargeſtellten Art, die man zum Nachweis ſehr ſchwacher Ströme benutzt. Das Grundbrett beſteht aus einer quadratiſchen Hartholzplatte von 12 cm Seitenlänge und 2½ cm Dicke, die glatt gehobelt und auf der Oberfläche mit Glimmerpapier beklebt wird. An dieſer Platte wird der Träger für das Nadelſyſtem befeſtigt, der aus einem 2 cm breiten Meſſingſtreifen von etwa 1 mm Dicke und 40 cm Länge ſo gebogen wird, daß er ein umgekehrtes V bildet. Zur Befeſtigung dienen Meſſingſchrauben, da — wie wir ſchon hörten — bei Galvanoſkopen alle Eiſenteile vermieden werden müſſen. Der Nadelträger wird oben nicht ſcharf geknickt, ſondern flach gebogen, ſo daß eine flachgewölbte Fläche entſteht. In dieſe Fläche bohrt man ein kleines Loch, durch das man eine Öſenſchraube hindurchſteckt, deren Öſe, wie Abb. 69 zeigt, nach unten weiſt. Die Schraubenſpitze wird in einen kleinen Holzknopf hineingedreht, der die Schraube am Träger feſthält. Die Drahtſpule wird aus 20—30 m*) Draht von 0,1—0,3 mm Durchmeſſer angefertigt, da wir ja mit unſerem Inſtrument nur ſchwache Ströme nachweiſen wollen. Die Befeſtigung auf dem Grundbrett geſchieht gemäß Abb. 69 mit zwei ſchmalen Meſſingſtreifchen. Die Enden der Wicklung werden an zwei vorn auf dem Grundbrett befeſtigte Klemmen geführt. Nach der Spule haben wir das Nadelſyſtem zu konſtruieren. Um es recht

*) Je länger der Draht, deſto zahlreicher die Windungen, deſto empfindlicher das Inſtrument. 20—30 m genügen für unſere Zwecke im allgemeinen; wir können aber auch 50 oder 100 m Draht nehmen, wenn wir ein beſonders hochempfindliches Inſtrument bauen wollen.

leicht zu geſtalten, verwenden wir an Stelle richtiger Magnetnadeln zwei gerade Stückchen Stahldraht von 5—5 cm Länge und 0,5 mm Dicke, die wir durch Einlegen in eine ſtromdurchfloſſene Spule magnetiſieren (vgl. S. 128). Die Verbindung der beiden Pole zu einem aſtatiſchen Syſtem wird durch ein Stückchen Meſſingblech von 0,5 cm Breite und 4—5 cm Länge bewirkt, durch das man die Nadeln wagrecht hindurchſchiebt, nachdem man feine Öffnungen vorgebohrt hat. Zur ſicheren Befeſtigung dient ein Tropfen Siegellack oder Paraffin. Die Nadeln müſſen ſo feſt ſitzen, daß ſie weder herausfallen noch ſich neigen können. Man muß alſo vorſichtig und ſorgfältig arbeiten und hat noch beſonders darauf zu achten, daß die beiden Nadeln ſo verbunden werden, daß die entgegengeſetzten Pole nach der gleichen Seite ſehen. Die Ermittlung der Pole geſchieht am einfachſten mit Hilfe eines Dauermagnets (Kompaß, Hufeiſenmagnet), deſſen Pole man kennt, unter Anwendung der Regel, daß gleichnamige Magnetpole ſich abſtoßen, während ungleichnamige ſich anziehen. Hat man die Pole der Nadeln beſtimmt, ſo verſieht man die Nordpole mit einem roten Lacküberzug oder einer ähnlichen Markierung. Dadurch wird ſpäteren Verwechſlungen am ſicherſten vorgebeugt. Sind die Nadeln montiert, ſo bringt man am obern Ende des ſie tragenden Meſſingſtreifchens eine feine Bohrung oder auch eine kleine Öſe an, durch die man einen Seidenfaden (ungefärbte Seide!) ſchlingt, deſſen freies Ende an der Öſenſchraube des V-förmigen Trägers angeknüpft wird. Die Länge des Fadens iſt ſo zu bemeſſen, daß die untere Nadel genau in der Mitte der Drahtſpule (parallel zur Längsachſe der Spule) ſchwebt, deren obere Windungen man ein wenig auseinandergebogen hat, um die Nadel hindurchſtecken zu können. Die obere Nadel bleibt außerhalb der Spule, ſo daß man ſie bequem beobachten und aus ihrer Bewegung die Ablenkung des ganzen Syſtems entnehmen kann. Ein die Windungen durchfließender Strom wirkt auf beide Nadeln im gleichen Sinne.

Um die Größe der Ablenkung beſſer feſtſtellen zu können, kann man unter der oberen Nadel eine Kreisteilung anbringen.

Die Lage des Nullpunkts wird durch die ruhende Nadel gegeben. Die Größe des Nadelausſchlags, den man an den Teilſtrichen ableſen kann, geſtattet Rückſchlüſſe auf die Stärke des Stromes, denn ein Strom, der die Nadel bei gegebener Windungszahl um 90° ablenkt, iſt ſtärker als ein Strom, der nur einen Ausſchlag von 45° hervorbringt. Eine genauere Meſſung der Stromſtärke oder der Spannung iſt mit den beſchriebenen Inſtrumenten jedoch nicht möglich. Dazu brauchen wir beſondere Strommeßinſtrumente (Strom- und Spannungsmeſſer), deren Anfertigung das nächſte Kapitel erläutern ſoll.

Siebentes Kapitel.

Elektriſche Meßinſtrumente.

1. Allgemeines.

Die Galvanoſkope oder Stromzeiger, die wir im letzten Kapitel beſprachen, geſtatten uns lediglich, das Vorhandenſein eines elektriſchen Stromes nachzuweiſen, während ſie uns nicht erlauben, ſeine Stärke und Spannung genau zu meſſen. Für ſolche Meſſungen benutzt man beſondere Inſtrumente, deren Bau und Handhabung wir jetzt kennenlernen wollen. Als Maß für die Stromſtärke dient, wie wir wiſſen, das Ampere, als Maß für die Spannung das Volt. Demgemäß nennt man die Stromſtärkemeſſer auch Amperemeter, während man die Spannungsmeſſer als Voltmeter bezeichnet. Von den verſchiedenen Wirkungen des elektriſchen Stromes, die die Technik zum Bau ſolcher Meßinſtrumente benutzt, kommen für uns in erſter Linie die magnetiſchen Wirkungen in Frage, die wir bereits beim Bau unſerer Galvanoſkope zu Hilfe nahmen. Verſieht man ein Galvanoſkop mit einer in Grade geteilten Skala, die den Zeigerausſchlag genau abzuleſen geſtattet, ſo entſteht ein Galvanometer, ein Strommeſſer, mit dem man unter beſtimmten Umſtänden die Stromſtärke

und die Spannung meſſen kann. Anders geartete magnetiſche Wirkungen des elektriſchen Stromes macht man in den ſogenannten Weicheiſenmeßinſtrumenten nutzbar. Einen Vertreter dieſer Klaſſe werden wir nachher bauen. Weiterhin können wir die Wärmewirkungen des elektriſchen Stromes für Meßzwecke ausnutzen. Auf dieſem Prinzip beruhen die Hitzdraht-Meßinſtrumente, von denen wir auch einen Vertreter kennenlernen werden. Die auf anderen Grundlagen fußenden techniſchen Meßinſtrumente kommen für uns nicht in Frage, da ſie zu ſchwierig zu bauen ſind. Die nachfolgend näher beſchriebenen Konſtruktionen genügen aber für unſere Zwecke durchaus. Sie können bei ſauberer Arbeit ſelbſt ſehr hohe Anſprüche an Genauigkeit befriedigen.

Zwiſchen Strom- und Spannungsmeſſern beſteht ein grundlegender Unterſchied nicht. Die Spannungsmeſſer ſind vielmehr im Prinzip genau ſo gebaut, wie die Amperemeter. Sie meſſen nämlich nicht etwa unmittelbar die Spannung des betr. Stromes, ſondern ebenſo wie die Amperemeter ſeine Stärke, auf die ſich die Spannung nach dem Ohmſchen Geſetz durch die Formel

$$\text{Spannung} = \text{Stromſtärke} \times \text{Widerſtand}$$

zurückführen läßt. Dieſe Beziehungen machen wir uns am beſten an einem Beiſpiel klar. Wir denken uns ein Amperemeter, das ſo gebaut iſt, daß 1° Ausſchlag des Zeigers einer Stromſtärke von $^1/_{100}$ Ampere entſpricht. Der Widerſtand der Wicklung des Inſtruments ſoll 500 Ohm betragen. Schlägt es dann um 20° aus, ſo hat der betr. Strom eine Stärke von $^{20}/_{100} = {}^1/_5$ Ampere. Nach der oben erwähnten Formel entſpricht dieſe Stromſtärke einer Spannung von $^1/_5 \times 500 = 100$ Volt. Da der Ausſchlag 20° betrug, entfällt auf jeden Grad eine Spannung von 5 Volt. Wir brauchen alſo die Skala des betr. Strommeſſers nur mit dem Vermerk: „1° = 5 Volt“ zu verſehen, ſo kann das Inſtrument ohne weiteres zu Spannungsmeſſungen dienen.

Dieſen Ausführungen gemäß läßt ſich jedes beliebige hoch

empfindliche Amperemeter als Spannungsmeſſer verwenden. Um ein Amperemeter hoch empfindlich zu machen, brauchen wir nichts zu tun, als ihm eine Wicklung aus dünnem Draht mit hohem Widerſtand zu geben. Auf dieſen Unterſchied in der Wicklung beſchränkt ſich alſo der ganze Unterſchied zwiſchen Strom- und Spannungsmeſſern. Die Amperemeter beſitzen eine Wicklung aus wenigen Windungen dicken Drahtes (Grund dafür ſiehe unten); die Spannungsmeſſer ſind mit einer viele Windungen enthaltenden Wicklung dünnen Drahtes verſehen. Dieſe Unterſchiede im Bau der Meßinſtrumente bedingen ihrerſeits Unterſchiede in der Schaltung. Ein Amperemeter wird ſo in den Stromkreis, deſſen Stromſtärke ermittelt werden ſoll, gelegt, wie es Abb. 70 zeigt, daß alſo der ganze zu meſſende Strom

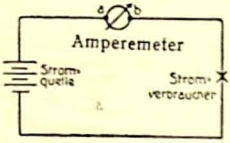


Abb. 70. Wie man ein Amperemeter in den Stromkreis ſchaltet: ſo, daß der ganze Strom durch die Wicklung fließt.

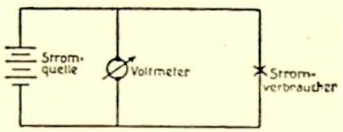


Abb. 71. Wie man ein Voltmeter in den Stromkreis ſchaltet: ſo, daß nur ein Teilſtrom durch die Wicklung fließt.

durch ſeine Wicklung fließt. Die Wicklung muß alſo ſo dick gewählt werden, daß ſie dem betr. Strom möglichſt wenig Widerſtand entgegenſetzt. Für den Spannungsmeſſer mit feiner dünndrähtigen Wicklung iſt dieſe Schaltung unmöglich. Zur Überwindung des hohen Widerſtands der Wicklung würde ein guter Teil des Stromes nutzlos verbraucht werden. Man ſchaltet die Spannungsmeſſer aus dieſem Grunde ſo in den Stromkreis ein, wie es Abb. 71 zeigt, d. h. man legt ſie als Nebenſchluß an die betreffende Leitung, und zwar möglichſt direkt an die Stromquelle, deren Spannung gemeſſen werden ſoll. Bei dieſer Schaltung fließt nur ein kleiner Bruchteil des Stromes durch das Meßinſtrument, ſo daß größere Energieverluſte vermieden werden. Erwähnt ſei noch, daß man Strommeßinſtrumente, die ausſchließlich für Spannungsmeſſungen beſtimmt ſind, ſelbſtverſtändlich gleich mit einer Voltteilung verſieht, die eine beſondere Umrechnung unnötig macht.

2. Ein Weicheiſen-Meßinſtrument.

Bei den Weicheiſen-Meßinſtrumenten wird die magnetiſche Wirkung des elektriſchen Stromes zur Meſſung benutzt, und zwar läßt man bei ihnen den Strom auf ein bewegliches Stäbchen oder Plättchen aus weichem Eiſen wirken, das durch

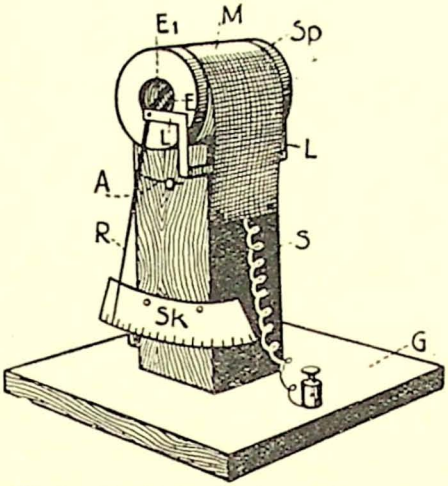


Abb. 72. Ein einfaches Weicheiſen-Meßinſtrument.

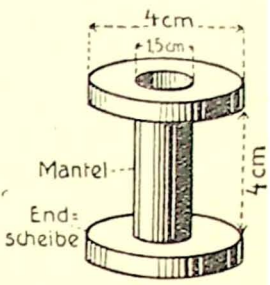


Abb. 73. Die Spule.

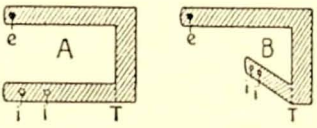


Abb. 74. Die als Lager für den beweglichen Eiſenſtreifen dienenden Meſſingwinkel.

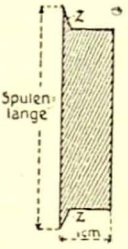


Abb. 75. Der bewegliche Eiſenſtreifen.

Abb. 76. Die Befeſtigung des Zeigers.

die auftretenden elektromagnetiſchen Kräfte gezwungen wird, eine andere Lage einzunehmen, während irgendeine Gegenkraft, etwa ein Gewicht oder eine Feder, danach ſtrebt, es in die Gleichgewichts- oder Ruhelage zurückzuführen.

Ein auf dieſem Prinzip beruhendes, leicht zu bauendes Meßinſtrument*) zeigt Abb. 72. Zur Herſtellung brauchen wir

*) Nach A. Vogler, Jedermann Elektrotechniker, Bd. I, S. 101.

ein Grundbrett G von 12 cm Länge und Breite bei 2 cm Dicke, eine vierkantige Holzleiſte S von 12 cm Höhe und 3 cm Seitenlänge, ſowie eine Spule Sp der in Abb. 73 dargeſtellten Form, die bei 4 cm Mantellänge Flanſchen von 4 cm Durchmeſſer und eine 1,5 cm weite Kernbohrung haben muß. Nötigenfalls kann man die Spule aus einem dünnwandigen Papierrohr und zwei hölzernen Flanſchen ſelbſt herſtellen; kauft man ſie, ſo achtet man darauf, daß der Spulenmantel recht dünn iſt.

Die Spule wird, falls man ein Amperemeter bauen will, mit gut iſoliertem Kupferdraht von 1,5—2,5 mm Stärke bewickelt. Wird die Wicklung aus 1,5 mm ſtarkem Draht hergeſtellt, ſo können Ströme bis 8 Ampere Stärke gemeſſen werden. Bei einer Wicklung aus 2,5 mm ſtarkem Draht kann die Belaſtung bis 15 Amp. ſteigen. Handelt es ſich um den Bau eines Spannungsmeſſers, ſo wird die Wicklung aus 100 m ſeidenumſponnenen Kupferdrahts von 0,1 mm Stärke hergeſtellt. Anfang und Ende des Drahtes führt man durch die vordere Flanſche hindurch und klemmt ſie irgendwie feſt, ſo daß ſich die Wicklung nicht lockern kann.

Die bewickelte Spule enthält zunächſt einen Überzug aus paraffinierter Leinwand oder Iſolierband und dann noch eine Hülle aus ſchwarzem Wachstuch oder weichem, ſchwarzem Leder, die ſie vor Beſchädigungen ſchützt. Darauf wird ſie nach Maßgabe von Abb. 72 mit Hilfe eines breiten Meſſingblechſtreifens M auf dem oben etwas ausgehöhlten Träger S befeſtigt, der mittlerweile auf dem Grundbrett aufgeſtellt worden iſt. Weiter wird ein dünner Eiſenblechſtreifen E von 1 cm Breite, deſſen Länge der Spulenlänge entſpricht, ſo im Hohlraum der Spule angebracht (mit Siegellack befeſtigen), daß er mit dem ſenkrechten Durchmeſſer der Spule einen Winkel von 45° bildet. E gegenüber ſitzt der gleichfalls aus dünnem Eiſenblech geſchnittene Streifen E_1, der ſich in den Lagern L dreht. Form und Größe von E_1 gehen aus Abb. 75 hervor. Die beiden Zäpfchen Z werden rund gefeilt, dürfen aber nicht zu zierlich werden. Die Form der beiden aus ſtarkem Meſſing- oder Kupferblech zu ſchneidenden Lager L veranſchaulicht Abb. 74 A,

Bei o wird mit einem ſtumpfen Nagel eine kleine Vertiefung eingeſchlagen, in die hernach die Zäpfchen des Streifens E_1 zu liegen kommen. Der andere, bei i mit Bohrungen verſehene Schenkel jedes Lagers wird an der durch die punktierte Linie T bezeichneten Stelle rechtwinklig nach hinten umgebogen (vergl. Abb. 74 B). Dann wird zuerſt das hintere Lager ſeitwärts an die Tragſäule S geſchraubt, ſo daß die Vertiefung e in die Verlängerung der Spulenachſe zu liegen kommt, darauf der Streifen E_1, mit dem man inzwiſchen den Zeiger R, einen dünnen, ſpitz zugeſchnittenen Meſſingblechſtreifen, verlötet hat (vergl. Abb. 76), in die Spule eingeführt und nun auch das vordere Lager befeſtigt, wobei das vordere Zäpfchen von E_1 in die Vertiefung e des vorderen Lagers gebracht wird. Iſt alles in Ordnung, ſo muß ſich E_1 leicht und faſt ohne Reibung in ſeinen Lagern drehen.

Nun haben wir noch dafür zu ſorgen, daß ſich E_1 bei Nichtgebrauch des Meßinſtruments möglichſt nahe an den Streifen E legt, ſo daß der Zeiger R einen Winkel mit der Senkrechten bildet. Dazu bringen wir am oberen Ende des Zeigers R einen aus einem Stückchen harten Meſſingdrahts beſtehenden ſeitlichen Arm A an (vergl. Abb. 72), auf dem ſich ein kleines Gewicht, ein durchbohrtes Bleikügelchen, mit einiger Reibung verſchieben läßt. Durch Veränderung der Lage dieſes Gewichts läßt ſich die gewünſchte Zeigerſtellung leicht erzielen.

Hinter der Zeigerſpitze wird die Skala Sk befeſtigt, die man aus ſtarkem Zeichenpapier herſtellt. Damit iſt das Inſtrument fertig, doch müſſen wir es, um es zu Meſſungen benutzen zu können, zunächſt eichen, d. h. die Skala mit einer Volt- oder Ampereteilung verſehen. Wie das geſchieht, iſt auf S. 140 nachzuleſen.

Beim Gebrauch wird das Meßinſtrument mit Hilfe der beiden vorn auf dem Grundbrett ſitzenden Anſchlußklemmen, die mit den freien Enden der Wicklung verbunden worden ſind, in den Stromkreis geſchaltet, und zwar nach Abb. 70, wenn es ſich um einen Strommeſſer handelt, und nach Abb. 71, wenn es ein Spannungsmeſſer iſt. Der durch die Wicklung

fließende Strom magnetisiert dann die beiden Eisenstreifen E und E_1 so, daß sie beide an den gleichen Enden gleiche Pole erhalten. Gleichnamige Magnetpole aber stoßen sich ab. Infolgedessen wird E_1 um seine Achse gedreht, und zwar um so stärker, je stärker der die Wicklung durchfließende Strom ist. Diese Bewegung überträgt sich auf den Zeiger R, der dadurch über die Skala geführt wird, an der sich bei entsprechender Teilung die Stärke oder die Spannung des Stromes ablesen läßt.

3. Ein Hitzdraht-Meßinstrument.

Die Hitzdraht-Meßinstrumente führen uns in das für uns noch neue Gebiet der Beziehungen zwischen Elektrizität und Wärme. Jeder elektrische Strom erwärmt den Leiter, in den er fließt, weil bei der Überwindung des Widerstandes, den der Leiter dem Strom entgegensetzt, Energie verbraucht wird. Wird aber ein Körper erwärmt, so nimmt seine Ausdehnung zu. Jeder stromdurchflossene Leiter wird also durch die entstehende Stromwärme ausgedehnt, und zwar um so stärker, je stärker er erwärmt wird. Die Stärke der Erwärmung aber ist von der Stärke des den Leiter durchfließenden Stromes abhängig, mit dessen Wachsen sie ebenfalls wächst. Man kann also aus der Ausdehnung eines Leiters auf die ihn durchfließende Stromstärke schließen, d. h., man kann damit die Stromstärke messen.

Ein außerordentlich einfaches Hitzdraht-Meßinstrument sehen wir in Abb. 77. Zur Herstellung brauchen wir außer einem 11×25 cm großen Grundbrett ein beiderseits zugeschärftes Stahlblatt A (Klinge eines Sicherheits-Rasierapparats), zwei mittelgroße Drahtstifte S, etwas Wachs, einen 15 cm langen Wolframdraht D von 0,1 mm Stärke, ein Stückchen Messingdraht E, eine als Zeiger dienende Hutnadel B und einen L-förmig gebogenen, ziemlich breiten Messingstreifen F, auf dessen Vorderfläche die Skala aufgeklebt wird. Man schlägt die beiden Drahtstifte S 3—4 cm von der linken Schmalseite des Grundbretts und etwa 10 cm voneinander entfernt in das Grundbrett ein, spannt den Wolframdraht D straff zwischen ihnen aus (gut

verlöten), befeſtigt das Knopfende der Hutnadel, deren Knopf man entfernt, mit Wachs an dem Stahlblatt A, das ziemlich tief in das Grundbrett getrieben wird und hängt dann die Nadel mit Hilfe des daran befeſtigten Meſſingdraht-Häkchens E ſo an dem Wolframdraht auf, daß die Nadelſpitze auf den Nullpunkt der an der entgegengeſetzten Seite des Grundbretts befeſtigten Skala F zeigt. Schickt man dann einen Strom durch den Wolframdraht, deſſen Enden man zweckmäßig durch angelötete Kupferdrähte mit zwei auf dem Grundbrett angebrachten Anſchlußklemmen verbindet, ſo biegt ſich der dadurch erwärmte Draht je nach der Stromſtärke mehr oder minder ſtark durch. Infolgedeſſen ſenkt ſich das freie Ende des Zeigers, und ſeine Spitze

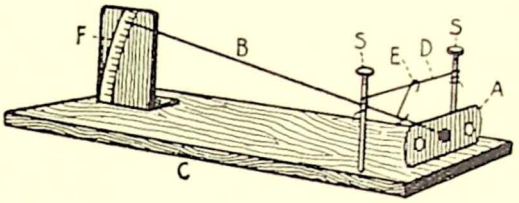


Abb. 77. Ein einfaches Hitzdraht-Meßinſtrument.

wandert über die entſprechend zu eichende Skala. Das Inſtrument iſt für Spannungen bis zu 6 Volt und geringe Stromſtärken geeignet.

Ein beſonderer Vorzug aller Hitzdraht-Meßinſtrumente iſt, daß ſie ſich nicht nur für Gleichſtrom-Meſſungen, ſondern auch zur Meſſung von Wechſelſtrömen eignen, und zwar ohne daß ſie beſonders für Wechſelſtrom geeicht zu werden brauchen wie das beiſpielsweiſe bei den Weicheiſen-Inſtrumenten nötig iſt. Ein Nachteil der Hitzdraht-Inſtrumente liegt darin, daß ſich der Zeiger bei Stromſchluß nur ſehr langſam in ſeine jeweilige Stellung begibt. Kommt es uns alſo auf ſchnelle Ableſung an, ſo benutzen wir beſſer Weicheiſen-Meßinſtrumente, die ſich beſonders gut für Schalttafeln, überhaupt zur dauernden Einſchaltung in feſtliegende Stromkreiſe, eignen. Auf jeden Fall muß man aber auch einmal ein Hitzdraht-Meßinſtrument

bauen, um dieſes Prinzip durch eigene Anſchauung kennenzulernen.

4. Die Eichung von Meßinſtrumenten.

Die Eichung von Meßinſtrumenten erfordert große Geduld und unbedingte Genauigkeit; Vorausſetzung iſt außerdem das Vorhandenſein eines bereits geeichten Inſtruments mit einer Skala, die der gewünſchten möglichſt entſpricht. Verfügen wir über kein Vergleichsinſtrument, ſo müſſen wir die Eichung durch einen Elektrotechniker vornehmen laſſen. Haben wir eine feſte Bezugsquelle für unſern elektrotechniſchen Bedarf, ſo erweiſt man uns dort den kleinen Dienſt vielleicht umſonſt; im andern Fall iſt eine Anfrage nach den Koſten ratſam. Wie die Skaleneinteilung beſchaffen ſein ſoll und welcher Meßbereich dem Inſtrument zugedacht iſt, iſt genau anzugeben. Am beſten eignen ſich für uns Meßbereiche von 1—5 Amp. und von 1—20 Volt. Die Ampereſkala ſoll ſo eingerichtet ſein, daß man Unterſchiede von 0,1—0,2 Amp. ableſen kann. Beim Spannungsmeſſer können die Teilſtrich-Abſtände 0,5—1 Volt betragen.

Wollen wir uns ſelbſt an die Eichung wagen, ſo gehen wir folgendermaßen vor: Zur Eichung eines Amperemeters wird das betr. Inſtrument mit einem bereits geeichten Amperemeter, ſowie einem Regulierwiderſtand (ſ. S. 107 ff.) und einigen großen Bunſenelementen oder Akkumulatoren ſo hintereinandergeſchaltet, wie es Abb. 78 zeigt. Dann wird der Strom geſchloſſen und durch Ausſchalten von Widerſtand ganz allmählich verſtärkt. Die verſchiedenen Stromſtärken werden jeweils am Vergleichsinſtrument abgeleſen und auf der Skala des zu eichenden Inſtruments an der ihnen entſprechenden, durch Bleiſtiftſtriche fixierten Zeigerſtellung mit Ziffern vermerkt. Man notiert zweckmäßig nur die ganzen Ampere, während man Bruchteile nur durch Striche andeutet. Wie oben bemerkt, ſollen die Teilſtriche Unterſchieden von 0,1—0,2 Amp. entſprechen. Bei genauer Arbeit und einem fein abſtufbaren

Widerſtand (Flüſſigkeitswiderſtand) wird ſich dieſe Forderung leicht erfüllen laſſen. Die ermittelte Skala wird hernach in ſchwarzer Tuſche ſauber ausgeführt.

Zur Eichung eines Spannungsmeſſers braucht man außer einer guten Batterie, deren Spannung dem gewünſchten Meßbereich entſprechen muß, einen fein abſtufbaren Regulierwiderſtand und einen bereits geeichten Spannungsmeſſer. Das zu eichende Inſtrument wird nach Abb. 79 parallel zum Ver-

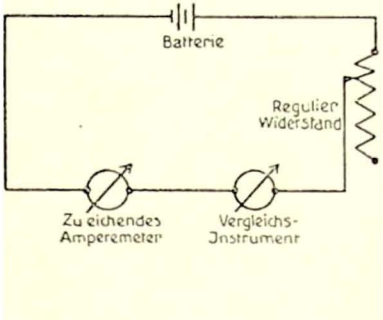


Abb. 78. Wie das zu eichende Amperemeter mit dem Vergleichsinſtrument und dem Widerſtand zuſammengeſchaltet wird.

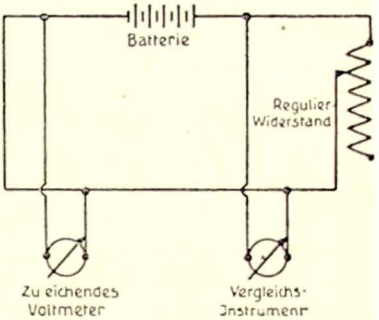


Abb. 79. Wie das zu eichende Voltmeter mit dem Vergleichsinſtrument und dem Widerſtand zuſammengeſchaltet wird.

gleichsinſtrument in den aus dem veränderlichen Widerſtand und der Meßbatterie gebildeten Stromkreis geſchaltet. Dann wird der Strom geſchloſſen und die am Vergleichsinſtrument abgeleſene Spannung, die ſich mit der Änderung des Widerſtands ändert, auf die Skala des zu eichenden Inſtruments übertragen. Bei einem Meßbereich von 1—20 Volt bringt man gewöhnlich nur bei den Zeigerſtellungen 0—5—10—15—20 Volt Ziffern an, während man die Unterteilung, die von 0,5 zu 0,5 oder von 1 zu 1 Volt ſpringen ſoll, durch längere und kürzere Striche kennzeichnet.

Achtes Kapitel.

Elektromagnete.

1. Allgemeines.

Im Jahre 1825 entdeckte William Sturgeon, daß ein mit isoliertem Kupferdraht bewickelter Eisenstab zu einem Magneten wird, wenn man einen elektrischen Strom durch die Wicklung sendet. Diesen Magnetismus kann man nach Belieben verschwinden und auftreten lassen, einfach dadurch, daß man den betreffenden Stromkreis öffnet und schließt. Die Stärke (Tragfähigkeit, Anziehungskraft) eines Elektromagneten hängt von der Stärke des die Wicklung durchfließenden Stromes und von der Anzahl der Windungen ab, die die Wicklung besitzt. Die Kenntnis dieser Tatsache ermöglicht es uns, Elektromagnete verschiedener Stärke zu bauen, indem wir der Wicklung eines Eisenkerns mehr oder weniger Windungen geben. Allerdings nimmt die Stärke eines Elektromagneten nicht unbegrenzt mit der wachsenden Stromstärke zu. Vielmehr tritt schließlich die sogen. magnetische Sättigung ein, ein Zustand, in dem der Magnetismus des Eisenkerns seinen höchsten Wert erreicht hat. Zu beachten ist, daß sich weiches Eisen und harter Stahl bei der Magnetisierung verschieden verhalten. Weiches Eisen läßt sich sehr leicht, harter Stahl dagegen nur schwer magnetisieren. Dafür verliert das Eisen seinen Magnetismus sofort wieder, sobald der Magnetisierungsstrom ausgeschaltet wird, während der Stahl den einmal angenommenen Magnetismus auch nach dem Aufhören des Magnetisierungsstroms behält. Man sagt: Weiches Eisen wird nur zeitweise oder temporär magnetisch, harter Stahl dagegen dauernd oder permanent. Für Elektromagnete, deren Magnetismus beim Öffnen des Stromes wieder verschwinden soll, darf man infolgedessen nur weiches Eisen verwenden.

2. Stab-Elektromagnete.

Der in Abb. 80 dargeſtellte Stab-Elektromagnet wird aus einem Stück Rundeiſen*) von 15 cm Länge und 1,5 cm Durchmeſſer hergeſtellt, auf das man zwei runde Holzſcheiben (Flanſchen) von 4 cm Durchmeſſer und 6—8 mm Dicke geſteckt hat. Die ſo gebildete Spule wird mit baumwollumſponnenem Kupferdraht von 1 mm Durchmeſſer bewickelt. Anfang und Ende des Drahtes werden nach Abb. 81 durch die untere Flanſche geſteckt. Die beiden frei vorſtehenden Drahtenden ſollen je 10 cm lang ſein. Sie werden ſpiralig aufgewickelt und mit je einer Klemmſchraube verbunden, ſo daß man den Elektro-

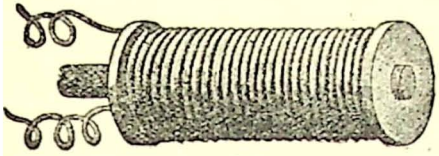


Abb. 80. Einfacher Stab-Elektromagnet.

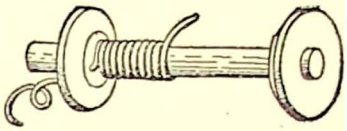


Abb. 81. Wie ein Stab-Elektromagnet bewickelt wird.

magneten bequem an eine Batterie anſchließen kann. Beim Wickeln achtet man darauf, daß jede Windung dicht neben die nächſte zu liegen kommt. Iſt eine Lage fertig, ſo legt man ein Stück paraffiniertes Papier**) zwiſchen ſie und die nächſte, fährt ſo fort, bis die Spule ziemlich gefüllt iſt, und gibt der fertigen Wicklung ſchließlich einen Wachstuch-Überzug, deſſen Säume man mit Seidenband zuſammenſchnürt. Beim Gebrauch hält man den Magneten, mit dem man ſchon ziemlich bedeutende Laſten heben kann, im allgemeinen in der Hand. Für manche Verſuche iſt es jedoch zweckmäßiger, ihn in einem kleinen Geſtell zu befeſtigen, das ihm verſchiedene Lagen zu geben geſtattet.

*) Derartige Eiſenſtücke ſind unter der Bezeichnung Magnetkerne in Längen von 3—20 cm mit einem Durchmeſſer von 0,7—2 cm im Handel. Natürlich liefert uns aber auch jeder Schmied paſſende Kerne; wir müſſen nur ausdrücklich weiches Eiſen verlangen.

**) Über die Anfertigung von Paraffinpapier vgl. S. 210. Als Erſatz kann ölgetränktes Papier oder käufliches Guttapercha-Papier dienen.

Ein aufrechtſtehender Stab-Elektromagnet läßt ſich aus einem ſtarken, an einem Ende mit einem viereckigen Kopf, am andern auf 3—4 cm Länge mit einem Gewinde verſehenen Eiſenbolzen, zwei auf das Gewinde paſſenden eiſernen Muttern und einem ſtarken Grundbrett von 2—3 cm Dicke, 10 cm Breite und 15 cm Länge herſtellen. (Abb. 82.) Das Grundbrett wird genau in der Mitte ſo durchbohrt, daß ſich der Eiſenbolzen, der bei 1½ cm Durchmeſſer etwa 16 cm lang ſein ſoll, mit einiger Reibung durch das Loch hindurchſtecken läßt. An der Unterſeite des Brettes wird die Öffnung ſo ſtark erweitert, daß die entſtehende Höhlung für eine der Schraubenmuttern bequem Platz bietet. Dann wird der Bolzen, auf den man inzwiſchen zwei runde Holz- oder Pappſcheiben geſchoben hat, nach Abb. 82 mit Hilfe der beiden Muttern im Grundbrett befeſtigt. Der viereckige Kopf muß nach oben zeigen. Schließlich wird noch eine Wicklung aus iſoliertem Kupferdraht von 1,5 mm Durchmeſſer aufgebracht, deren freie Enden mit zwei auf dem Grundbrett befeſtigten Anſchlußklemmen verbunden werden.

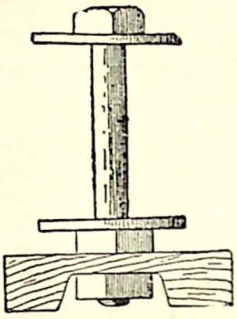


Abb. 82. Kern des ſtehenden Stab-Elektromagneten.

3. Hufeiſen-Elektromagnete.

Bei den beſprochenen Stab-Elektromagneten arbeitet immer nur ein Pol, während der andere unbenutzt bleibt. Biegen wir jedoch den Kern eines Stab-Magneten ſo zuſammen, daß beide Enden nebeneinander liegen, ſo kommen beide Pole zur Wirkung. Magnete dieſer Form bezeichnet man als Hufeiſenmagnete.

Ein einfacher Hufeiſen-Elektromagnet iſt in Abb. 83 dargeſtellt. Der Kern beſteht aus einem Stück Flacheiſen von 3 cm Breite, 7—10 mm Dicke und 15 cm Länge, dem man vom Schmied die in Abb. 83 A gezeichnete Form geben läßt. Auf jeden Schenkel ſteckt man zwei Holz- oder Kartonſcheiben,

deren Form ſich aus Abb. 83 B ergibt. Darauf bewickelt man erſt den einen Schenkel in der üblichen Weiſe, führt dann den Draht von der oberſten Lage dieſer Wicklung zum zweiten Schenkel, legt ihn ſo um ihn herum, daß der Übergang die Form eines liegenden S erhält, und ſtellt auch die zweite Wicklung fertig. Die beiden Wicklungen ſind dann ſo miteinander verbunden, daß der Strom die Kerne in entgegengeſetzter Richtung umkreiſt. Infolgedeſſen entſteht am Ende des einen Schenkels ein Nord-, am Ende des andern ein Südpol. Wickelt man dagegen die Kerne ſo, daß ſie beide im gleichen Sinne vom Strom umkreiſt werden, ſo erhält man zwei gleich-

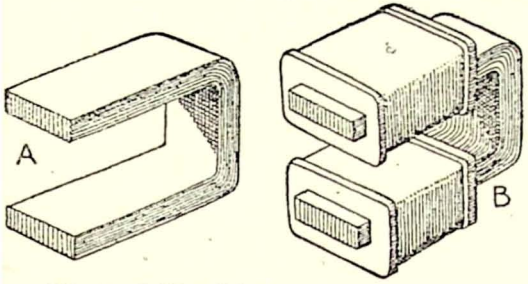


Abb. 83. Hufeiſen-Elektromagnet mit Flacheiſenkern; A Kern, B fertiger Magnet.

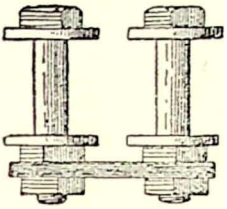


Abb. 84. Hufeiſen-Elektromagnet mit Rundeiſenkern.

namige Pole. Die freien Enden der Wicklung werden in der üblichen Weiſe mit Anſchlußklemmen verbunden. Der zur Wicklung benutzte Draht ſoll 0,8—1 mm ſtark ſein. Bei einem Strom von 3—4 Amp. Stärke kann man mit dieſem Elektromagneten Eiſenſtücke von mehreren Pfund Gewicht heben.

Statt den Kern aus Flacheiſen biegen zu laſſen, kann man das Hufeiſen auch, wie Abb. 84 zeigt, aus einer Eiſenplatte und zwei damit verſchraubten Eiſenbolzen der bereits früher beſchriebenen Art herſtellen. Von ſolchen Magnetſyſtemen macht man vor allem bei elektriſchen Läutewerken, Telegraphenapparaten uſw. Gebrauch. Die Größe der Eiſenplatte (die man als „Magnetjoch“ bezeichnet) und der Kerne richtet ſich nach dem Verwendungszweck. Für eine elektriſche Klingel wäre ein 5 mm dickes Eiſenplättchen von 2 cm Breite und 6 cm Länge

paſſend. In dieſe Platte werden zwei Löcher von je 7 mm Durchmeſſer gebohrt, deren Mittelpunkte 4 cm voneinander entfernt ſein ſollen. Dieſe Löcher dienen zur Befeſtigung der beiden je 5 cm langen und 7 mm ſtarken, mit viereckigen Köpfen verſehenen Eiſenkerne, deren freie Enden ein ziemlich langes Gewinde erhalten. Beide Kerne werden durch gegeneinander geſchraubte Muttern feſt mit dem Joch verbunden, mit paſſenden Flanſchen verſehen und dann mit iſoliertem Kupferdraht von 0,2 bis 0,3 mm Stärke bewickelt.

Neuntes Kapitel.

Elektriſche Läutewerke und andere Signalapparate.

1. Allgemeines.

Das Prinzip der elektriſchen Läutewerke wird durch Abb. 85 veranſchaulicht. Wir ſehen darin einen Hufeiſenmagneten E, vor deſſen Polen der an einer ſtarken Blattfeder F befeſtigte Anker A angebracht iſt. Das freie Ende des Ankers trägt einen Klöppel, der gegen eine Glockenſchale ſchlägt. Dem Anker gegenüber ſitzt eine Kontaktſchraube K, die ſo angeordnet iſt, daß der Anker bei nicht arbeitendem Läutewerk ihre Spitze berührt. Mit dieſer Kontaktſchraube iſt das eine Ende der Elektromagnetwicklung verbunden, deren anderes Ende an der Anſchlußklemme G_1 liegt. Von der zweiten Anſchlußklemme G_2 führt eine leitende Verbindung zum Anker. Zwiſchen die beiden Klemmen ſind die Batterie Ba und der Druckknopf D geſchaltet. Drückt man auf D, ſo wird der Stromkreis geſchloſſen. Der Strom fließt dann von G_1 durch die Elektromagnetwicklung über K und den Anker zur Klemme G_2 und von hier zur Batterie zurück. Der Anker wird angezogen, und der Klöppel ſchlägt gegen die Glocke. Dabei entfernt ſich der Anker jedoch von der Spitze der Kontaktſchraube K, ſo daß der Stromkreis

zwiſchen A und K unterbrochen iſt. Der Elektromagnet verliert alſo ſeinen Magnetismus und läßt den Anker los, der ſofort von ſeiner Blattfeder zurückſchnellt und wieder gegen K gelegt wird. Dadurch tritt abermals Stromſchluß ein. Der Anker wird von neuem angezogen, ſchlägt gegen die Glocke, unterbricht dabei den Stromkreis, ſchnellt zurück uſw. Das Spiel wiederholt ſich, ſolange der Kontakt D geſchloſſen bleibt.

Dieſe Erläuterungen zeigen uns bereits, daß der Bau eines elektriſchen Läutewerks nicht beſonders ſchwierig ſein kann.

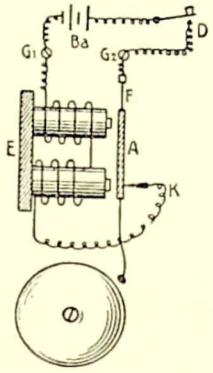


Abb. 85. Schalt- und Stromlaufſchema einer einfachen elektriſchen Klingel.

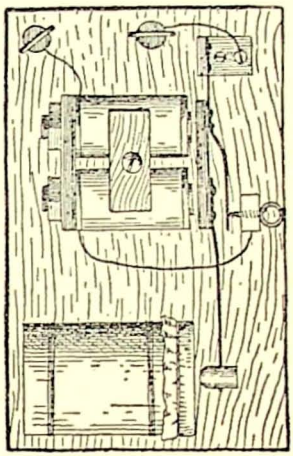


Abb. 86. Elektriſche Trommel.

Die nachfolgenden Ausführungen werden dieſe Anſicht beſtätigen. Es gibt kaum einen Apparat, der ſo leicht zu bauen iſt wie eine elektriſche Klingel. Wir müſſen nur ſorgfältig und genau arbeiten, da ſchon ein kleiner Fehler die Urſache eines Mißerfolgs werden kann.

2. Elektriſche Trommeln.

Der Bau der in Abb. 86 dargeſtellten Trommelglocke, bei der die ſonſt gebräuchliche Glockenſchale durch eine richtige kleine Trommel erſetzt iſt, wird auch dem Anfänger keine

Schwierigkeiten bieten. Das Grundbrett iſt 12 cm breit, 18 cm lang und 1½ cm dick. Der Hufeiſenelektromagnet wird nach der auf Seite 145 gegebenen Anleitung aus 2 Eiſenbolzen und einer dünnen Eiſenplatte angefertigt. Durchmeſſer der Bolzen 0,75 cm; Länge etwa 5 cm; Abſtand zwiſchen den Bolzenmitten 3 cm; Dicke der Flanſchen 2—3 mm; Kernlänge innerhalb der Flanſchen (Wicklungsraum) 4 cm. Ob man an Stelle loſer Flanſchen eine kleine käufliche Holzſpule auf jeden Kern ſchieben will, ſei dem Ermeſſen des einzelnen überlaſſen. Arbeitet man ohne Spulen, ſo darf man nicht vergeſſen, die Kerne mit Paraffinpapier zu umwickeln, bevor man die Drahtwindungen aufbringt.

Zur Herſtellung der Wicklung wird ſeideumſponnener Kupferdraht von 0,4 mm Durchmeſſer verwendet. Für jede Spule ſind etwa 20 m Draht erforderlich. Der Strom muß beide Kerne im entgegengeſetzten Sinne umkreiſen. Die Wicklungen ſein. Das andere Ende der Feder iſt ſo nach außen abzubiegen, verbinden. Der fertige Elektromagnet wird durch eine lange Meſſingſchraube und ein quer über die Spulen gelegtes Hartholzbrettchen auf dem Grundbrett befeſtigt.

Der Anker beſteht aus einem Eiſenplättchen von 3—4 mm Dicke, 10 mm Breite und 4,5 cm Länge, das mit einer Blattfeder (Uhrfeder) von gleicher oder wenig geringerer Breite vernietet oder verſchraubt wird. Das eine Ende dieſer Blattfeder wird an einem kleinen Meſſingträger befeſtigt. Das Federſtück zwiſchen Anker und Träger ſoll 10—12 mm breit ſein. Das andere Ende der Feder iſt ſo nach außen abzubiegen, wie es Abb. 86 zeigt. Am freien Ende des Ankers wird ein 8—10 cm langer Meſſingdraht von 1 mm Stärke mit einem als Klöppel dienenden Hartholzblöckchen befeſtigt. Dem Klöppel gegenüber wird die Trommel angebracht.

Die Trommel beſteht aus einer kleinen Blechbüchſe, deren Deckel entfernt worden iſt. In den Büchſenboden werden einige Löcher gebohrt, damit die in der Büchſe eingeſchloſſene Luft hindurchtreten kann, wenn ſie beim Trommeln abwechſelnd verdünnt und verdichtet wird. Als Trommelfell dient ein Stück

Schweinsblase, das naß über die Büchsenöffnung gezogen und mit dünnem, aber starkem Bindfaden festgeschnürt wird. Beim Aufspannen müssen alle Falten sorgfältig entfernt werden, damit die trockene Haut die Büchsenöffnung glatt und straff überspannt. Die fertige Trommel ist vor Feuchtigkeit zu schützen, da die Haut sonst schlaff und unelastisch wird. Zur Befestigung der Trommel auf dem Grundbrett dienen über die Büchse gelegte Drähte, deren Enden man durch Löcher im Grundbrett zieht und auf der Unterseite miteinander verwindet. Der Klöppel soll die Mitte des Trommelfells bearbeiten.

Der die Selbstunterbrechung bewirkende Kontakt wird aus einer Ösen-Messingschraube und einem kleinen Hartholzblock angefertigt, den man gegenüber dem aufgebogenen Ende der Blattfeder auf dem Grundbrett befestigt. Die Ösenschraube wird vorsichtig durch den Block hindurchgedreht, und zwar so weit, daß die Spitze das freie Ende der Blattfeder berührt. Durch Verstellung der Schraube läßt sich die Entfernung des Ankers von den Polen regeln. Die Schraubenspitze soll die Mitte der Blattfeder treffen. Da im Betrieb zwischen Spitze und Feder häufig winzige Funken überspringen, die die Kontaktstelle schnell oxydieren, versieht man die Schraube am besten mit einer Wolframspitze und die Blattfeder mit einem runden Wolframplättchen. Wolfram oxydiert als Edelmetall nicht. Die Kontaktstelle bleibt infolgedessen immer blank. Die Wolframspitze wird aus einem Stückchen Platindraht von 1,5 mm Länge und 0,2—0,3 mm Dicke hergestellt. Das Wolframplättchen für die Blattfeder soll bei 2½ mm Durchmesser 0,15 mm dick sein. Wolframkontakte dieser Größe erhält man in allen elektrotechnischen Geschäften. Die Kontakte werden aufgelötet. Bei der Kleinheit der Wolframstückchen ist das eine schwierige Arbeit, die wir am besten vom Spengler (Flaschner, Klempner) vornehmen lassen.

Ist der Unterbrecher montiert, so verbinden wir die einzelnen Teile unseres Läutewerks untereinander und mit den beiden Anschlußklemmen, die wir an der oberen Schmalseite des Grundbretts befestigen. Der Anfang der Elektromagnet-

wicklung wird an die in Abb. 86 links ſitzende Klemmſchraube geführt. Das Ende der Wicklung kommt an die Kontaktſchraube des Unterbrechers. Die zweite Anſchlußklemme verbindet man mit dem Ankerträger.

Zum Betrieb dieſer Trommelglocke genügen bei einer nicht zu langen Leitung zwei hintereinander geſchaltete Salmiakelemente mittlerer Größe. Der poſitive Pol der Batterie wird mit der links ſitzenden Klemmſchraube unſerer Glocke verbunden, während der Verbindungsdraht vom negativen Pol über einen Druckknopf zur zweiten Klemme führt. Sind alle Verbindungen richtig hergeſtellt, ſo muß das Läutewerk beim Druck auf den Druckknopf einen dumpfen Trommelwirbel ertönen laſſen. Tritt dieſe Wirkung bei Stromſchluß nicht ein, ſo prüft man zunächſt, ob die Blattfeder ſich auch von der Spitze der Kontaktſchraube entfernt, wenn der Anker angezogen wird. Iſt dies nicht der Fall, ſo ſchraubt man die Kontaktſchraube zurück, bis die Unterbrechung ordnungsgemäß erfolgt. Liegt das Verſagen jedoch daran, daß der Klöppel das Trommelfell nicht trifft, ſo biegt man den Klöppelſtiel etwas vor. „Klebt“ der Anker an den Magnetpolen ſtatt hin- und herzuſchwingen, ſo verlieren die Kerne ihren Magnetismus bei der Unterbrechung nicht ſchnell genug; das Eiſen, aus dem ſie beſtehen, iſt dann zu hart (vgl. S. 142). Bei ſchwachem Kleben hilft man ſich dadurch, daß man die beiden Magnetpole mit Papier beklebt. Tritt die Erſcheinung auch dann noch auf, ſo muß man den Apparat wieder auseinandernehmen und die Kerne ausglühen. Tritt überhaupt keine Ankeranziehung ein, ſo prüft man zuerſt durch Einſchalten einer ſtärkeren Batterie, ob vielleicht die den Anker tragende Blattfeder zu ſtark iſt. Dieſem Mangel hilft man durch Dünnerſchleifen ab. Liegt der Fehler hier nicht, ſo iſt unter Zuhilfenahme eines Galvanoſkops nachzuprüfen, ob die Wicklung vielleicht zerriſſen iſt, ob alle Verbindungsdrähte in Ordnung, ob alle Kontakte blank ſind uſw. Auf dieſe Weiſe wird man den Fehler ſchließlich finden.

Um ein Verſtauben des Läutewerks zu verhüten, verſehen

wir es mit einem kaſtenartigen, aus dünnen Holzbrettchen zuſammengeleimten Deckel. Trommel und Klöppel bleiben natürlich frei. Für den Klöppelſtiel wird ein kleiner Schlitz angebracht, ſo daß der Klöppel frei ſchwingen kann.

3. Raſſelglocken.

Bringt man an Stelle der Trommel bei dem vorbeſchriebenen Läutewerk eine Glockenſchale an und erſetzt man den Holzklöppel durch eine Metallkugel, ſo bekommt man eine ſogen. Raſſelglocke. Das iſt die Form der elektriſchen Läutewerke, die wir gewöhnlich in unſeren Wohnungen finden. Wenn wir nicht zufällig eine alte Fahrradglocke oder eine

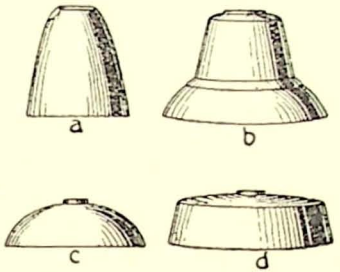


Abb. 87. Glockenſchalen für Raſſelglocken: a Schalmeiſchale, b Turmſchale, c Flachſchale, d Ruſſenſchale.

Weckeruhr beſitzen, deren Glocke ſich ganz gut benutzen läßt, müſſen wir die Glockenſchale kaufen. Dabei können wir zwiſchen den in Abb. 87 gezeigten Schalenformen wählen. Beſonders ſchön und voll klingen die Schalmei- und die Turmſchalen. Für grelle Signale ſind dagegen Flachſchalen vorzuziehen, die auch am billigſten ſind. Sie koſteten vor dem Kriege je nach der Größe (5—20 cm Durchmeſſer) 10 Pfg. bis 1 Mark.

Die Größe des Elektromagnetſyſtems und die Stärke der Wicklung einer Raſſelglocke richtet ſich nach der Größe der Glockenſchale. Das richtige Verhältnis der einzelnen Teile iſt aus der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Durchmesser der Glockenschalen	Länge der Magnetkerne	Durchmesser der Magnetkerne	Länge der bewickelten Spule	Durchmesser der bewickelten Spule	Durchmesser des zu verwendenden Drahtes
50—65 mm	50 mm	8 mm	45 mm	19 mm	0,3—0,4 mm
75 „	58 „	10 „	50 „	22 „	0,4—0,5 „
90 „	64 „	11 „	58 „	25 „	0,5—0,6 „
100 „	70 „	12 „	64 „	28 „	0,5—0,6 „
115 „	76 „	14 „	70 „	34 „	0,6—0,7 „
130 „	82 „	16 „	76 „	35 „	0,6—0,7 „
140 „	85 „	18 „	82 „	38 „	0,7—0,8 „
150 „	86 „	20 „	90 „	40 „	0,7—0,9 „
165 „	100 „	23 „	100 „	45 „	0,7—0,9 „
175 „	106 „	24 „	106 „	48 „	0,8—1,0 „
190 „	112 „	24 „	106 „	50 „	0,8—1,2 „
200 „	115 „	25 „	112 „	52 „	0,9—1,5 „

Größenangaben für elektrische Läutewerke.
Nach Weiler.

Die Größe des Ankers und der übrigen Teile ist der Größe des Elektromagnetsystems anzupassen.

Als Träger der Glockenschale dient eine kleine runde Holzsäule, die aufrecht auf dem Grundbrett befestigt wird. Man treibt eine breitköpfige Messingschraube durch die Öffnung der auf den Träger gelegten Schale in das Säulchen hinein. Der Glockenträger muß so hoch sein, daß der Rand der Schale mindestens 5 mm vom Grundbrett entfernt bleibt.

Als Klöppel verwendet man am besten eine kleine Messingkugel. Man kann den Klöppel aber auch aus Bindedraht herstellen, den man knäuelartig um das Ende des Klöppelstiels wickelt. Der Drahtknäuel wird erst in Lötwasser und dann in geschmolzenes Zinn getaucht. Nach dem Erkalten feilt man ihn rund.

4. Elektrische Summer.

Die Summer sind Läutewerke ohne Glocke. Sie werden vollständig in ein Holzkästchen, dessen Deckel eine kleine Öffnung aufweist, eingeschlossen. Bei Stromschluß geben sie ein summendes oder schnarrendes Geräusch von sich, das nur auf geringe Entfernungen hörbar ist. Man verwendet sie in Arbeits- und Krankenzimmern, bei Lichtbildervorträgen (Zeichen zum Wech-

ſeln der Bilder), überhaupt überall da, wo ein zwar deutliches, aber nicht ſehr lautes Signal gegeben werden ſoll. In Abb. 88 iſt ein einfacher Summer dargeſtellt. Wie die Konſtruktionsſkizze (Abb. 89) zeigt, ſtimmt der Apparat in allen

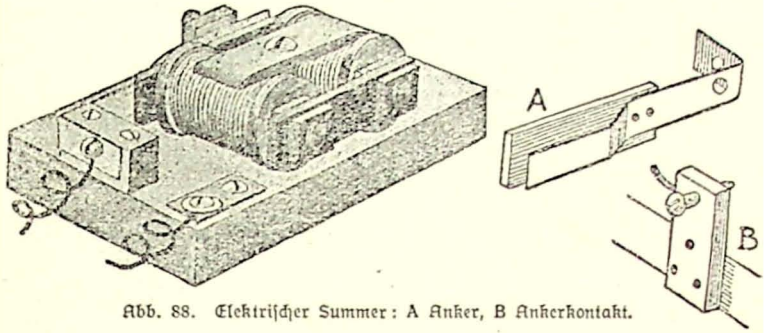


Abb. 88. Elektriſcher Summer: A Anker, B Ankerkontakt.

weſentlichen Teilen mit der auf S. 147 f. beſchriebenen Trommelglocke überein. Nur Trommel und Klöppel fehlen. Für die Bewicklung des Elektromagnetſyſtems gelten die Angaben der Tabelle auf S. 152. Zur Befeſtigung der Ankerfeder dient ein kleiner Hartholzblock, der in Abb. 89 auf der vorderen Schmalſeite des Grundbretts bei D ſichtbar iſt. Der dem freien Ende der Ankerfeder gegenüberſtehende Kontakt wird nach Abb. 88 B konſtruiert. Verbindet man die Klemme C mit dem negativen, die Klemme A mit dem poſitiven Pol einer Batterie und die übrigen Teile in der aus Abb. 89 erſichtlichen Weiſe miteinander, ſo wird der Anker bei Stromſchluß in ſchnelle Schwingungen verſetzt, die den als Signal benutzten ſummenden Ton verurſachen.

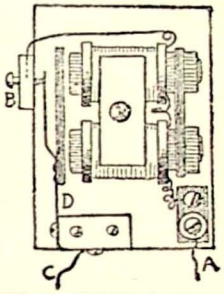


Abb. 89. Wie die einzelnen Teile des Summers miteinander zu verbinden ſind.

5. Schaltungsſkizzen für elektriſche Klingelanlagen.

Die auf den folgenden Seiten zuſammengeſtellten Schaltungsſkizzen (Abb. 90—96) veranſchaulichen einfache Klingel-

anlagen verſchiedener Art, wie ſie ein Junge leicht ſelbſt bauen kann. Zur Herſtellung der Leitungen wird in trockenen Räumen Aſphalt- oder Wachsdraht verwendet, den man am beſten nach Gewicht kauft. Welche Drahtlänge bei den verſchiedenen Drahtſtärken einer beſtimmten Gewichtsmenge entſpricht, läßt ſich mit Hilfe der nachfolgenden Tabelle, die auch die Durchſchnittspreiſe enthält, leicht berechnen.

Drahtſtärke	1 kg entſpricht	1 kg koſtet	100 g koſten
0,8 mm	165 m	2.50—2.75 M (Friedenspreis)	30—35 Pf. (Friedenspreis)
0,9 „	130 „		
1,0 „	120 „		

Aſphaltdraht-Tabelle.

Muß die Leitung an feuchten oder gar naſſen Wänden verlegt werden, oder iſt ſie durch Kellerräume, Schuppen uſw. zu führen, ſo muß man Teer- oder Guttaperchadraht benutzen, wenn man ſicher ſein will, daß die Leitung dauernd gut arbeitet. Teerdraht iſt billiger, da 1 kg von 1 mm Stärke, das einer

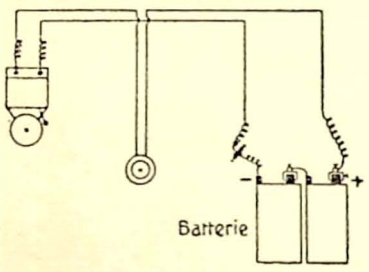


Abb. 90. Schaltungsſkizze einer Klingelanlage mit einem Läutewerk und einem Druckknopf. Das Läutewerk läßt ſich alſo nur von einer Stelle aus betätigen.

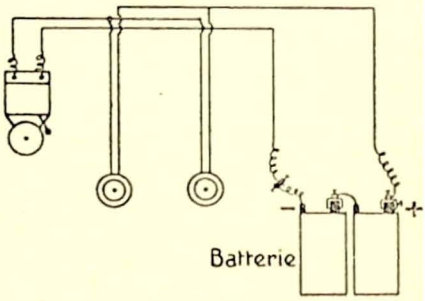


Abb. 91. Schaltungsſkizze einer Klingelanlage mit einem Läutewerk und zwei Druckknöpfen. Das Läutewerk läßt ſich von zwei verſchiedenen Stellen aus betätigen.

Drahtlänge von 120 m entſpricht, 2.75 bis 3.— Mark koſtet (Friedenspreis!). 1 kg Guttaperchadraht gleicher Stärke enthält nur 65 m, kommt jedoch doppelt ſo teuer zu ſtehen. Für ſehr naſſe Stellen iſt Guttaperchadraht allerdings unentbehrlich. Er wird ebenſo wie der Teerdraht auf Porzellanrollen (Abb. 97)

verlegt, die mit Drahtſtiften oder Schrauben (nötigenfalls unter Verwendung eingegipſter Holzdübel) an der Wand befeſtigt werden. Zur Befeſtigung des Drahtes an den Rollen dient blanker Bindedraht.

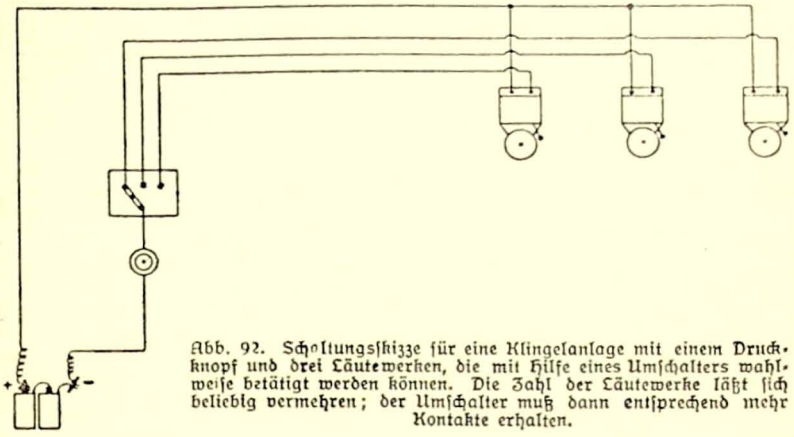


Abb. 92. Schaltungsſkizze für eine Klingelanlage mit einem Druckknopf und drei Läutewerken, die mit Hilfe eines Umſchalters wahlweiſe betätigt werden können. Die Zahl der Läutewerke läßt ſich beliebig vermehren; der Umſchalter muß dann entſprechend mehr Kontakte erhalten.

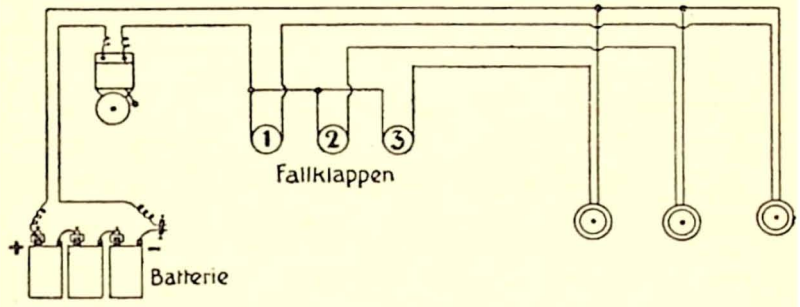


Abb. 93. Schaltungsſkizze einer Klingelanlage mit einem Läutewerk, drei Druckknöpfen und drei Fallklappen. Das Läutewerk kann alſo von drei verſchiedenen Stellen aus betätigt werden; die Fallklappen zeigen an, von welcher Stelle aus geklingelt worden iſt.

Für Aſphaltdrahtleitungen an trockenen Wänden ſind keine Porzellanrollen notwendig. Man befeſtigt die Drähte mittelſt verzinnter Krampen (Abb. 98), bei deren Einſchlagen man darauf achten muß, daß die Iſolierhülle nicht beſchädigt wird.

Abzweigungen (in den Schaltungsskizzen durch ⁻¡⁻ dargestellt) macht man, indem man die Isolierhülle an der betr. Stelle auf 1½—2 cm entfernt, den Draht blank schabt, das gleichfalls blank geschabte Ende des Abzweigdrahtes einige-

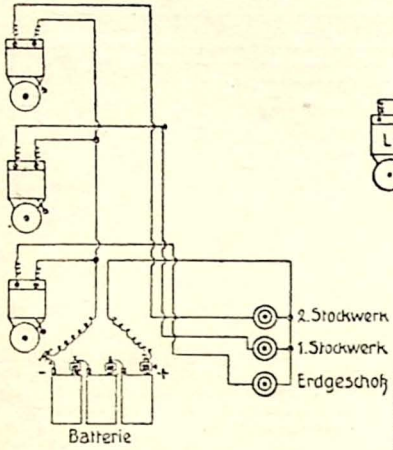


Abb. 94. Schaltungsskizze einer Klingelanlage mit drei Läutewerken, je eines im Erdgeschoß, im 1. und im 2. Stockwerk, und drei Druckknöpfen an der Haustüre. Jedes Läutewerk wird durch das Drücken des zugehörigen Kontaktes betätigt. Die Zahl der Läutewerke und der Druckknöpfe kann beliebig vergrößert oder verringert werden.

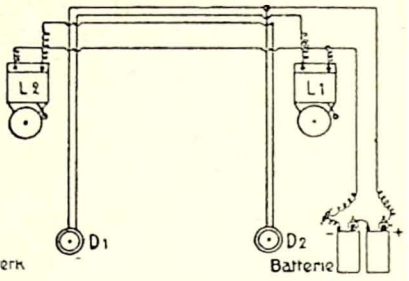


Abb. 95. Schaltungsskizze für eine Klingelanlage mit zwei Läutewerken, zwei Druckknöpfen und gemeinsamer Batterie. Sog. Korrespondenzanlage. Die Anlage dient zum wechselseitigen Zeichengeben; beim Drücken des Knopfes D_2 ertönt das Läutewerk L_2, und umgekehrt; man kann auf diese Weise den Empfang eines gegebenen Zeichens bestätigen, auch können sich die beiden Stationen mit verabredeten Klingelzeichen unterhalten. Diese Schaltung eignet sich nur für geringe Entfernungen; für größere Entfernungen muß man eine Schaltung nach Abb. 96 wählen.

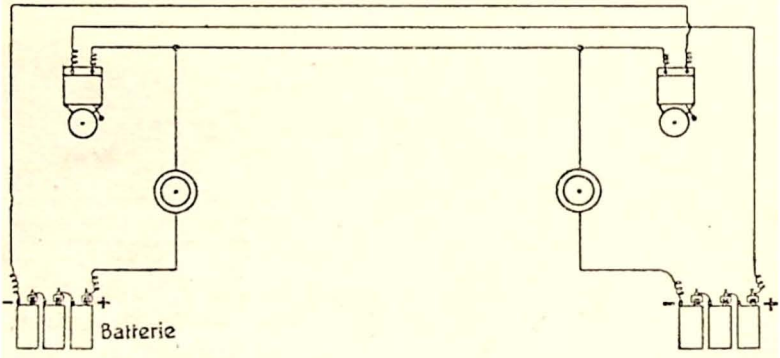


Abb. 96. Schaltungsskizze für eine Korrespondenzanlage auf größere Entfernungen; zwei Läutewerke, zwei Druckknöpfe, zwei Batterien. Für den Betrieb gilt die Erklärung zu Abb. 95.

mal um den erſten Draht herumwickelt und beide Drähte gut verlötet. Das Lötwaſſer wird möglichſt ſorgfältig entfernt. Zum Schluß umwickelt man die Stelle gut mit käuflichem Iſolierband.

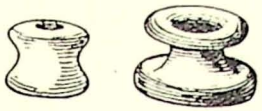


Abb. 97. Porzellanrollen zum Verlegen von Leitungsdrähten auf feuchten Wänden.

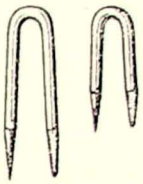


Abb. 98. Krampen zum Befeſtigen der Leitungsdrähte an trockenen Wänden.

Kreuzen ſich zwei Drähte (in den Schaltungsſkizzen durch —┼— dargeſtellt), ſo ſind ſie beide an der Kreuzungsſtelle gut mit Iſolierband zu umwickeln. Unterläßt man dieſe Vorſichtsmaßregel, ſo kann die Hülle unter Umſtänden durchgeſcheuert werden, was gewöhnlich zu unangenehmen, ſchwer auffindbaren Störungen führt.

Zehntes Kapitel.

Telegraphenapparate.

1. Der Schreibtelegraph.

Die Telegraphentechnik iſt eins der intereſſanteſten Arbeitsgebiete für den jungen Elektrotechniker, bietet ſie doch ſeinem Wiſſensdrang ein unerſchöpfliches Feld für Studien und Verſuche, zumal die dazu nötigen Apparate leicht zu bauen und zu handhaben ſind. Wir wollen uns hier zunächſt mit dem von Samuel Morſe, einem amerikaniſchen Maler, erfundenen Schreibtelegraphen beſchäftigen, der wohl von allen Syſtemen die weiteſte Verbreitung gefunden hat. Abb. 99 zeigt uns den Apparat in einer vereinfachten Ausführung. Danach beſteht

der Schreibtelegraph aus einem Elektromagneten B, dem an dem Hebel L befeſtigten Anker A, dem Schreibſtift V, der den Hebel L herunterziehenden Schraubenfeder r und einem Uhrwerk, das den Papierſtreifen D mit Hilfe zweier Klemmwalzen W vor dem Schreibſtift vorüberzieht. Schickt man einen elektriſchen Strom durch den Elektromagneten, ſo wird der Anker angezogen. Dadurch hebt ſich der Schreibſtift und drückt ſich gegen den Papierſtreifen. Wird der Streifen gleichzeitig

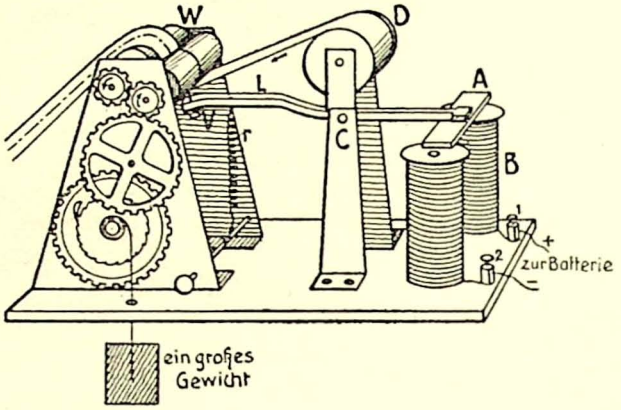


Abb. 99. Vereinfachter Morſeſcher Schreibtelegraph.

durch das Uhrwerk fortbewegt, ſo entſteht ein Strich, deſſen Länge von der Dauer des Stromſchluſſes abhängt. Unterbricht man den Strom, ſo zieht die Schraubenfeder den Anker hoch und den Schreibſtift herunter. Wir haben es alſo in der Hand, durch kürzeren oder längeren Stromſchluß auf dem Streifen kürzere oder längere Striche zu erzeugen. Setzen wir dieſe beiden Zeichen zu Gruppen zuſammen, die unſern Buchſtaben, Zahlen uſw. entſprechen, ſo können wir mit Hilfe des geſchilderten Apparats jede beliebige Nachricht übermitteln. In den nebenſtehenden Tabellen ſind die gebräuchlichſten Morſezeichen verzeichnet.

Die kurzen Striche nennt man Punkte. Da wir ſpäter mit

Buchstabe	Morsezeichen	Buchstabe	Morsezeichen	Buchstabe	Morsezeichen	Buchstabe	Morsezeichen	Buchstabe	Morsezeichen
a	•—	f	••—•	k	—•—	p	•——•	u	••—
b	—•••	g	——•	l	•—••	q	——•—	v	•••—
c	—•—•	h	••••	m	——	r	•—•	w	•——
d	—••	i	••	n	—•	s	•••	x	—••—
e	•	j	•———	o	———	t	—	y	——•—
								z	——••

Unser Alphabet in Morseschrift.

Ziffer	Morsezeichen	Ziffer	Morsezeichen	Satzzeichen	Morsezeichen	Satzzeichen	Morsezeichen	Betriebszeichen	Morsezeichen
1	•————	6	—••••	Punkt	••••••	Bindestrich	——•••—	Verstanden	•••—•
2	••———	7	——•••	Semikolon	—•—•—•	Apostroph	•————•	Schluß des Telegramms	•—•—•
3	•••——	8	———••	Komma	•—•—•—	Bruchstrich	——•••—	Warten	•—•••
4	••••—	9	————•	Fragezeichen	••———••	Klammer	—•——•—	Aufforderung zum Geben	—•—
5	•••••	0	—————	Ausrufungszeichen	——•••—	Anführungszeichen	•—••—•	Quittung	•—•—•—•—

Unsere Ziffern und Satzzeichen, sowie die wichtigsten Betriebszeichen in Morseschrift.

dieſen Zeichen telegraphieren wollen, merken wir uns folgende Arbeitsregeln:

1. Die Länge eines Striches iſt gleich der von 3 Punkten;
2. der Abſtand der Punkte und Striche eines Morſezeichens iſt gleich einem Punkt;
3. der Abſtand zwiſchen zwei Morſezeichen iſt gleich drei Punkten;
4. der Abſtand zwiſchen zwei Zeichengruppen (Wörtern oder Zahlen) iſt gleich ſechs Punkten.

Prägt man ſich dieſe Regeln ein und übt man ſich ein paar Wochen lang fleißig im Telegraphieren, ſo wird man die Morſeſchrift bald gut entziffern können.

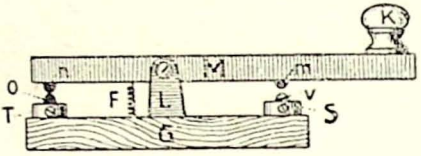


Abb. 100. Morſetaſte in Seitenanſicht; ſchematiſch.

Zum Senden der Zeichen benutzt man die Morſetaſte, deren Konſtruktion Abb. 100 verdeutlicht. Die eigentliche Taſte beſteht aus einem kräftigen Meſſinghebel M, der in den Lagern L drehbar befeſtigt iſt. Der Hartgummiknopf K dient als Handgriff. Bei m und n ſind ſtählerne Kontaktſtifte in den Hebel eingeſetzt. Genau unter dieſen Stiften liegen die Stahlkontakte o und v, die in den Meſſingſchienen S und T ſitzen. Ruht die Taſte, ſo zieht die Feder F das hintere Hebelende herunter und preßt die Kontakte n und o aufeinander. Drückt man auf den Knopf, ſo legt ſich m auf v, während n und o ſich trennen. Durch kürzeres oder längeres Niederdrücken des Hebels laſſen ſich alſo bei entſprechender Schaltung kürzere oder längere Stromſtöße durch die Leitung ſenden, die im Schreibapparat Punkte und Striche erzeugen.

Wie man zwei Morſeſtationen zuſammenſchaltet, veranſchaulicht Abb. 101. Drücken wir auf der Station A die Taſte T_1,

ſo fließt der Strom der Batterie B_1 über den vorderen Taſtenkontakt, die Leitung L_1, das Lager und den hinteren Kontakt der Taſte T_2 in den Morſeſchreiber M_2 und kehrt über die

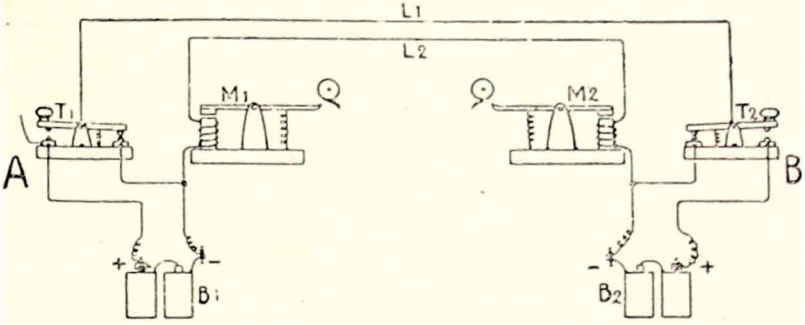


Abb. 101. Schaltungsſkizze für eine einfache Telegraphenanlage: zwei durch eine Doppelleitung verbundene Stationen, jede mit Morſeapparat.

Leitung L_2 und den Morſeſchreiber M_1 zur Batterie zurück. Beide Morſeapparate ziehen alſo ihren Anker an und ſchreiben das dem Stromſtoß entſprechende Zeichen nieder. Läßt man die

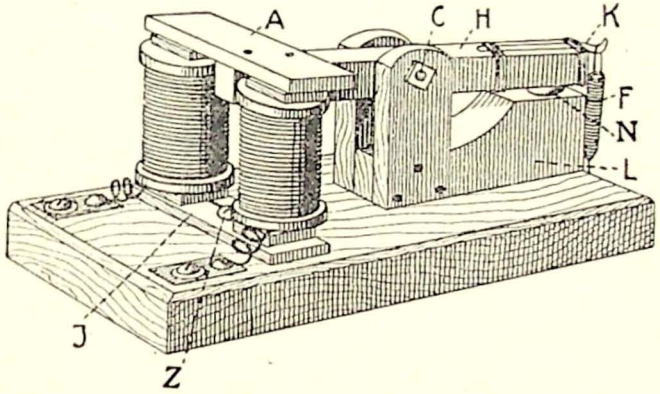


Abb. 102. Einfacher Klopfer.

Taſte los, ſo kehren alle Apparate in die Ruhelage zurück. Drückt man die Taſte T_2, ſo fließt der Strom der Batterie B_2 über L_1 zum Apparat M_1 und zurück über L_2 und M_2, wobei

wiederum beide Apparate anſprechen. Die Geſchichte iſt alſo ganz einfach.

Wie ſieht es nun mit der Selbſtanfertigung dieſer Apparate aus? Die Taſte wird uns keine beſonderen Schwierigkeiten machen, aber der Schreibapparat gibt doch zu einigen Bedenken Anlaß, da ſein Räderwerk eine etwas knifflige Aufgabe für uns iſt. Es gibt aber noch einen einfacheren Morſeapparat, den ſogen. Klopfer. Bei dieſem Apparat nimmt man die Morſezeichen mit dem Ohre auf, braucht alſo keinen Streifen und daher auch kein Räderwerk. Die Anfertigung eines Klopfers, deſſen einfachſte Form uns Abb. 102 zeigt, wird uns leicht gelingen.

2. Der Klopfer.

Wir brauchen dazu ein Grundbrett von 8—9 cm Breite und 16—18 cm Länge, in das wir 5 cm von der einen Schmalſeite entfernt zwei nebeneinanderliegende Löcher bohren. Sie ſollen die unteren Enden der Elektromagnetkerne aufnehmen (vergl. Abb. 103). Das Magnetjoch kommt auf das Grundbrett zu liegen. Danach iſt die Tiefe der Löcher zu bemeſſen. Zur Befeſtigung des Magneten dient die Meſſingſchraube Z. Die Länge der Magnetkerne ab Grundbrett-Oberfläche beträgt 6 cm. Die Wicklung beſteht aus 0,5—0,8 mm ſtarkem gut iſoliertem Kupferdraht. Auf die freien Enden der Kerne ſetzt man kleine viereckige Eiſenplatten, ſogen. Polſchuhe, auf, um die Polflächen zu vergrößern. Der Anker A (Länge 6 cm, Breite 2 cm, Dicke 2—3 mm) wird an der Meſſingſtange H, die 10 cm lang iſt, befeſtigt. Die Achſe C wird aus Stahl- oder Meſſingdraht hergeſtellt. Als Achslager dienen zwei entſprechend ausgebohrte Brettchen, die an dem Holzblock L, deſſen Form ſich aus Abb. 104 ergibt, befeſtigt ſind. Der Holzblock iſt 6—7 cm lang, hinten 3 cm hoch und 2,2 cm breit. Die Länge der Brettchen mag man auf 7—8 cm bemeſſen, ihre Breite und Dicke auf 25 und 6 mm. Am hintern Ende des Hebels bringt man einen ſtarken Meſſinghaken K an, in den die am Grundbrett befeſtigte kräftige Schraubenfeder F eingehängt wird. Dieſe Feder ſoll

bei ruhendem Apparat den Hebel nach unten ziehen, so daß er sich auf den Nagelkopf N legt. Zum Schluß befestigen wir

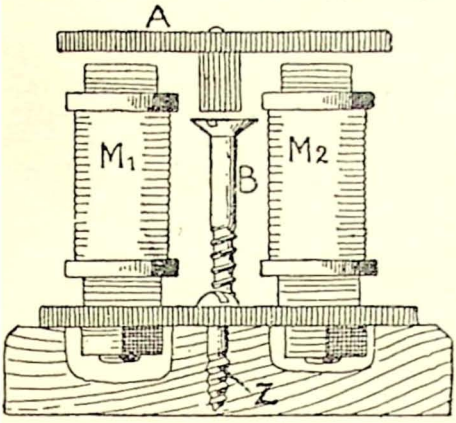


Abb. 103. Vorderansicht des Klopfers; Grundbrett im Schnitt.

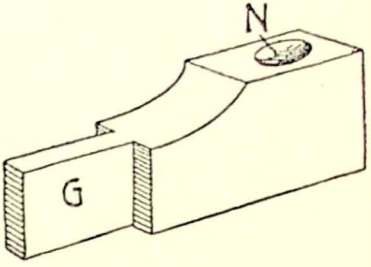


Abb. 104. Der zum Befestigen der Achslager dienende Holzklotz.

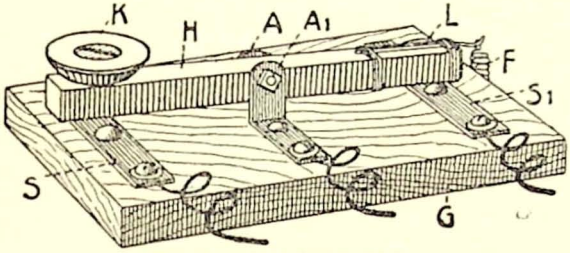


Abb. 105. Einfache Morsetaste.

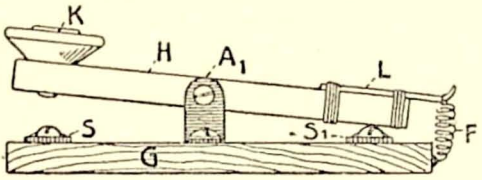


Abb. 106. Seitenansicht der Morsetaste.

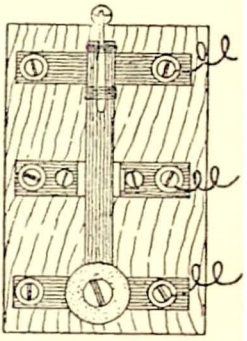


Abb. 107. Die Morsetaste von oben gesehen.

noch eine lange, dünne Messingschraube B (vergl. Abb. 103) mit flachem Kopf dicht hinter dem Magnetjoch und genau unter dem Ankerhebel im Grundbrett. Die Schraube muß so

lang ſein, daß die Kopffläche knapp 2 mm von der Unterſeite des Ankerhebels entfernt iſt, ſolange der Anker ſich in Ruhe befindet. Wird er angezogen, ſo ſchlägt der Hebel kräftig auf den Schraubenkopf. Dabei entſteht ein heller, ſcharfer Ton. Der angezogene Hebel ſoll die Magnetpole nicht berühren, da er ſonſt leicht klebt. Die Schraube darf natürlich nicht wackeln; ſie muß alſo tief im Grundbrett ſitzen. Im andern Fall taugt der Apparat nichts, da er dann undeutliche Zahlen gibt.

3. Die Morſetaſte.

Bei der Anfertigung der Taſte haben wir noch leichteres Spiel. Die Abb. 105, 106 u. 107 laſſen alle Einzelheiten deutlich erkennen. Das Grundbrett iſt 6—7 cm breit, 12—13 cm lang und etwa 2 cm dick. Parallel zu den beiden Schmalſeiten ſind die Meſſingſtreifen S und S_1 aufgeſchraubt. Jeder Streifen trägt ſeitlich eine Anſchlußklemme und in der Mitte einen Stahlkontakt, etwa eine kleine rundköpfige Eiſenſchraube oder dergl. Der Taſtenhebel H iſt 10—11 cm lang. Er wird am beſten aus Meſſing angefertigt. Das aus zwei L-förmigen Meſſingſtücken A und A_1 beſtehende Hebellager erhält gleichfalls eine Anſchlußklemme. Am Vorderende des Hebels wird ein hölzerner Knopf K als Handgriff angebracht. Hinten wird ein Haken L befeſtigt, in den das freie Ende der mit dem Grundbrett verbundenen Schraubenfeder F einzuhängen iſt. Die Feder zieht den Hebel bei ruhender Taſte nach unten, ſo daß ſich das hintere Ende auf den Kontakt S_1 legt. Drückt man auf den Knopf K, ſo wird dieſe Verbindung unterbrochen. Dafür legt ſich dann das vordere Hebelende auf den Kontakt S.

4. Eine einfache Klopferanlage.

Wie wir Taſte, Klopfer und Batterie miteinander und mit der Leitung zur zweiten Station verbinden müſſen, zeigt uns Abb. 101, in der wir uns die beiden Morſeſchreiber durch Klopfer erſetzt denken. Bei jedem Taſtendruck fließt dann ein

längerer oder kürzerer Stromſtoß durch die Leitung, der die beiden Klopfer zum Arbeiten bringt. Das Aufſchlagen des Ankerhebels auf die Anſchlagſchraube erzeugt dabei je nach der Dauer der Ankeranziehung dumpfe oder helle Töne, die den Strichen und Punkten der Morſeſchrift entſprechen. Wir geben das Telegramm alſo in Morſeſchrift mit Hilfe der Taſte ab und nehmen die Morſezeichen mit dem Ohre am

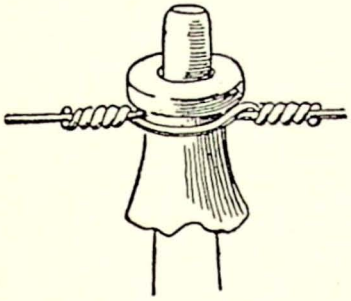


Abb. 108. Flaſchenhals als Iſolator; die Abbildung zeigt zugleich, wie der Leitungsdraht am beſten befeſtigt wird.

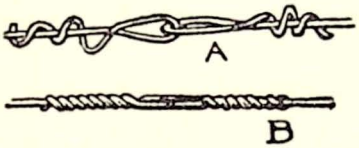


Abb. 110. A ſchlechte, B gute Verbindung zweier Leitungsdrähte.

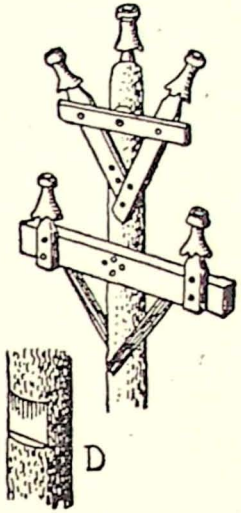


Abb. 109. Wie man fünf Leitungen an einer Stange befeſtigen kann; bei D iſt gezeigt, wie man die Stange einkerbt, um die Querträger ſicher zu befeſtigen.

Klopfer auf. Dazu gehört natürlich einige Übung. Wenn man ſich aber die erſten Mißerfolge nicht verdrießen läßt, wird man bald gut „klopfen“ können.

Die Stärke der Batterien iſt der Länge der Verbindungsleitung anzupaſſen. Im allgemeinen wird man auf jeder Station mit 3—4 hintereinander geſchalteten Salmiakelementen auskommen. Für die Anlage der Leitung gelten die auf S. 154 ff. gegebenen Regeln. Handelt es ſich um eine längere Leitung, ſo muß der Draht mindeſtens 1,5 mm ſtark ſein.

Sollen zwei durch einen Hof, eine Wiese oder dergl. voneinander getrennte Häuser miteinander verbunden werden, so benutzt man der Billigkeit halber für den im Freien liegenden Teil der Leitung blanken, verzinkten Eisendraht von etwa 2 mm Stärke. Daß Hin- und Rückleitung sich nicht berühren dürfen, ist selbstverständlich. Zur Befestigung der Drähte an Hauswänden, Scheuern und dergl. verwendet man Porzellanrollen (siehe Abb. 97).

Muß die Leitung frei über eine größere Fläche geführt werden, so spannt man die Drähte zwischen kräftigen Holzpfählen aus, die in Abständen von 3—4 m in den Boden gerammt werden. Die Spitze jedes Pfahls erhält eine aus einem abgeschlagenen Flaschenhals gebildete isolierende Kappe (vergl. Abb. 108), an der der Leitungsdraht mit Bindedraht befestigt wird. Hat man mehrere Leitungen zu verlegen, so bringt man an den Holzpfählen Querleisten an; Abb. 109 veranschaulicht die Einzelheiten. Muß man die Leitung aus zwei oder mehr Drahtstücken zusammensetzen, so verbindet man die Drähte nach Abb. 110 B. Eine Verbindung, wie Abb. 110 A sie zeigt, ist schlecht und führt zu Störungen.

Über Straßen und öffentliche Plätze dürfen wir unsere Leitungen übrigens nicht führen, da wir sonst der Reichstelegraphenverwaltung ins Gehege kommen. Unsere Telegraphen-Anlagen sind also auf unser Haus, dazugehörige Gärten, Wiesen und dergl. beschränkt. Vielleicht kann man über die Höfe auch noch ein Nachbarhaus erreichen. Der an der Stadtgrenze oder auf dem Land Wohnende wird etwas mehr Bewegungsfreiheit haben, doch muß auch er ziemlich vorsichtig sein, damit er nicht mit der Polizei in Konflikt gerät. Für Fernsprechleitungen gilt das gleiche.

Elftes Kapitel.

Fernſprechapparate.

1. Allgemeines.

Der Fernſprecher iſt von Philipp Reis, einem deutſchen Lehrer, erfunden worden, der jedoch für ſeine Beſtrebungen zu ſeinen Lebzeiten nirgendwo rechtes Verſtändnis fand. Seine Gedanken wurden von Graham Bell, einem Amerikaner, aufgegriffen und ausgeſtaltet. Von Bell rührt das erſte praktiſch brauchbare Telephon her, deſſen Prinzip wir in Abb. 111 ſehen. Wie die Abbildung erkennen läßt, benützte Bell den gleichen Apparat zum Sprechen (Senden) und Hören

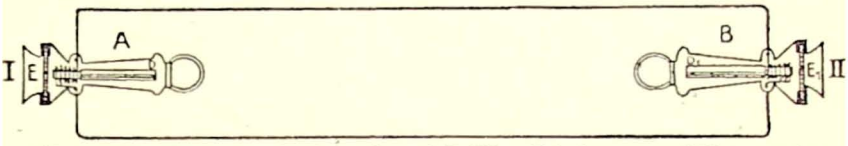


Abb. 111. Einfache Fernſprechanlage mit zwei Bellſchen Telephonen zur Erläuterung der Arbeitsweiſe.

(Empfangen). Der Apparat, den wir heute als Fernhörer bezeichnen, weil wir ihn nur noch als Empfänger brauchen, beſteht aus einem mit einer Drahtwicklung verſehenen Dauermagneten D, vor deſſen vorderem Pol eine Eiſenblechſcheibe E, die ſogen. Membran, befeſtigt iſt. Die Enden der Wicklung ſind mit der Leitung verbunden. Spricht man gegen die Membran, ſo gerät ſie in Schwingungen und führt dadurch Änderungen im Magnetismus des Dauermagneten D herbei. Dieſe Magnetismus-Änderungen rufen in der Wicklung Induktionsſtröme wechſelnder Richtung und Stärke hervor, die durch die Leitung und die Wicklung des Empfängers fließen. Deſſen Dauermagnet wird dadurch abwechſelnd verſtärkt und geſchwächt, ſo daß er ſeine Membran in Schwingungen verſetzt. Die Schwingungen dieſer Membran rufen wiederum Schallwellen hervor. Auf dieſe Weiſe werden die in den Sendeapparat geſprochenen Worte im Empfangsapparat getreu wiedergegeben.

2. Fernhörer.

Aus dieſer Darſtellung geht hervor, daß es nicht ſehr ſchwer ſein kann, ein Bellſches Telephon ſelbſt anzufertigen und damit einen kleinen Fernſprechbetrieb einzurichten. Wir

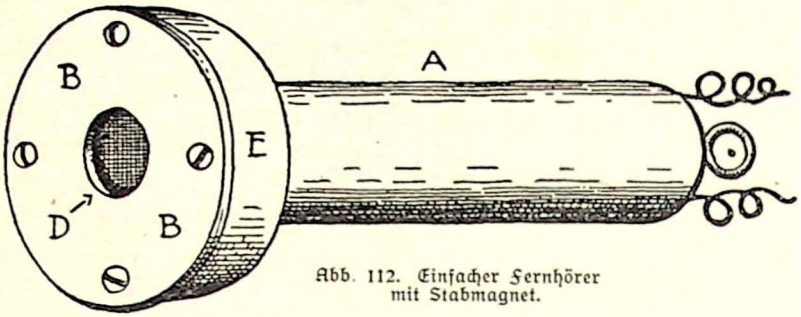


Abb. 112. Einfacher Fernhörer mit Stabmagnet.

werden ſogar ſehen, daß der Fernhörer einer der am leichteſten zu bauenden elektriſchen Apparate iſt. Bei der Anfertigung nehmen wir die Abb. 112 und 113 zu Hilfe. Zuerſt kommt das Gehäuſe an die Reihe, das ſich aus dem Handgriff A, der

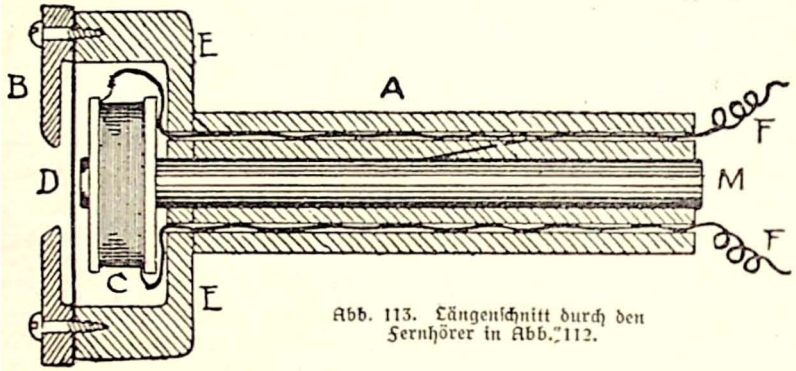


Abb. 113. Längenſchnitt durch den Fernhörer in Abb. 112.

Spulenkapſel E und dem Deckel B zuſammenſetzt. Für den Handgriff benutzen wir ein Stück Rundholz von 10 cm Länge und 3—4 cm Durchmeſſer (Gardinenſtange), das wir der ganzen Länge nach durchbohren. Die Bohrung ſoll 1 cm weit ſein. Sie nimmt ſpäter den Magnetſtab M auf. Die Kapſel E läßt ſich am billigſten aus einer runden Holzſchachtel (Durch-

meſſer 5,6 cm, Tiefe 2 cm) herſtellen. Der Schachtelboden wird ebenfalls durchbohrt. Da die Wandung ſolcher Schachteln gewöhnlich ſehr dünn iſt, leimen wir an der Innenwand nach dem Muſter von Abb. 114 vier kräftige Holzblöckchen feſt, die hernach zur Befeſtigung des Deckels B dienen. Wenn unſer Taſchengeld ausreicht, können wir uns auch eine Kapſel drechſeln laſſen. Für dieſen Fall gilt Abb. 113 als Vorbild. Die Kapſelwandung wird dann gleich ſo ſtark gemacht, daß man den Deckel aufſchrauben kann.

Der Deckel B wird aus einem Brettchen von 2—3 mm Stärke angefertigt. Vorteilhaft iſt es, den Deckel ſo zurecht zu ſchnitzen, daß er im Schnitt ſo ausſieht, wie es Abb. 115

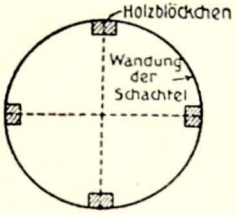


Abb. 114. Wie die Holzblöckchen in der Schachtel anzuordnen ſind.

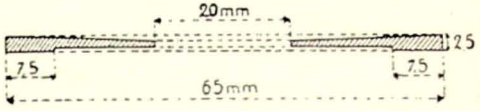


Abb. 115. Einfacher Schalltrichter, Schnitt.

zeigt. In der Mitte erhält er eine Öffnung von etwa 2 cm Durchmeſſer. An der Unterſeite wird das Holz um dieſe Öffnung herum auf 1 mm Tiefe ſo weit weggeſchnitten, daß ein 7,5 mm breiter Rand ſtehen bleibt.

Der Magnet wird aus einem Rundeiſenſtab von 12 cm Länge und 1 cm Dicke hergeſtellt, den man in einer Schmiede härten läßt, da man ja einen Dauermagneten braucht. Die Magnetiſierung des Stahlſtabs geſchieht am beſten ſo, daß man ihm eine proviſoriſche Wicklung aus 1,5 bis 2 mm dickem Kupferdraht gibt und den Strom einer ſtarken Akkumulatorenbatterie 5—10 Minuten lang einwirken läßt. Dadurch entſteht ein kräftiger Dauermagnet, der ſeinen Magnetismus viele Jahre hindurch unverändert behält. Die auf das Vorderende des Magneten zu ſchiebende flache Holzſpule wird mit 0,1 mm ſtarkem, ſeideumſponnenem Kupferdraht (etwa 1400 Windun-

gen) bewickelt. Zwiſchen je zwei Lagen kommt ein Blättchen paraffiniertes Seidenpapier (ſ. S. 210). Die beiden freien Enden der Wicklung werden blank geſchabt und an 1 mm ſtarke, iſolierte Kupferdrähte F gelötet, die man ſpäter durch den Handgriff nach außen führt.

Die kreisrunde Membran D (Durchmeſſer 6,5 cm) wird aus 0,25 mm dickem Weißblech geſchnitten und am Rand mit 4 Bohrungen verſehen, die denen des Deckels genau entſprechen ſollen. Ein dünner Aſphaltlackanſtrich kann nicht ſchaden. Sind alle Teile fertig, ſo ſchieben wir den Magneten M in den Handgriff A und ſtecken die Drähte F durch die Seitenlöcher. Der Magnetſtab muß eng in die Bohrung von A paſſen, damit er ſich nicht verſchieben kann; nötigenfalls iſt er feſtzukeilen. Die Polfläche ſoll höchſtens 1 mm von der Membran D entfernt ſein. Hat der Magnetſtab die richtige Stellung, ſo ſchiebt man die die Wicklung tragende Spule dicht an den Kapſelboden heran, legt die Membran D auf und ſchließt das Gehäuſe durch den Deckel B, deſſen Schrauben zugleich die Membran feſthalten. Eine ſtarke Öſenſchraube, die zum Aufhängen dient, vervollſtändigt den Apparat.

3. Eine einfache Fernſprechanlage.

Wie man aus zwei Fernhörern der beſchriebenen Art eine Fernſprechanlage zuſammenſetzt, zeigt uns Abb. 116. Wir erſehen daraus, daß man außer dem Telephon auf jeder Station noch einige Nebenapparate braucht, nämlich eine Anrufglocke EB, eine den Anrufſtrom liefernde Batterie B, einen Hebelumſchalter S, der die Leitung nach Wahl mit der Anrufglocke oder dem Hörer verbindet, und einen Druckknopf PB zur Betätigung der Anrufglocke. Es empfiehlt ſich, ſämtliche Apparate auf einem kräftigen Wandbrett zu vereinigen und die zugehörige Batterie in einem kleinen verſchließbaren Schränkchen in der Nähe aufzuſtellen. Zur Herſtellung der Apparat-Verbindungen dient baumwollumſponnener Kupferdraht von 1 mm Stärke. Über die Herſtellung von Abzweigungen, Kreuzungen, ſowie über die Anlage der Außenleitung iſt auf S. 154 ff. und

S. 160 nachzuleſen. Ins Freie führende Fernſprechleitungen ſind mit Abſchmelzſicherungen (vergl. S. 92) zu verſehen.

Der Betrieb dieſer Anlage wickelt ſich folgendermaßen ab. Solange nicht geſprochen wird, ruht der Umſchalterhebel S auf dem rechten, der Hebel S_2 auf dem linken Kontakt. Das iſt die ſogen. „Anrufſtellung" der Umſchalter, bei der jede Station die andere durch ein Klingelzeichen anrufen kann. Soll das geſchehen, ſo bringt die anrufende Station ihren Umſchalter in „Sprechſtellung", d. h. ſie dreht den Hebel

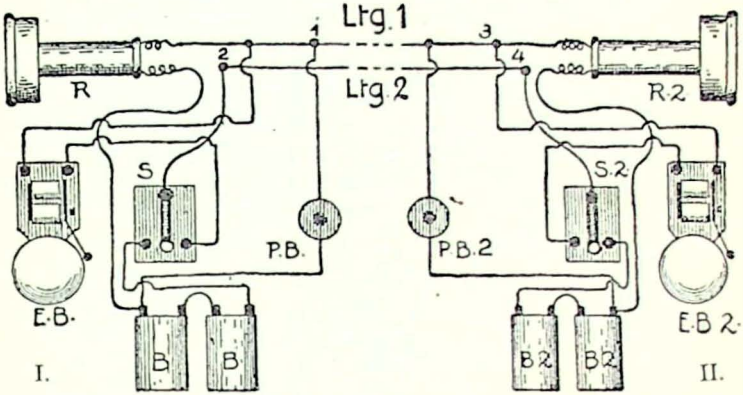


Abb. 116. Schaltungsſkizze für eine einfache Fernſprechanlage; zwei durch eine Doppelleitung verbundene Sprechſtellen, jede Sprechſtelle mit Fernhörer, Anrufglocke, Umſchalter, Batterie und Druckknopf.

auf den zweiten Kontakt und drückt dann den Druckknopf, der das Läutewerk der anderen Station betätigt.

Der ſich dabei ergebende Stromlauf ſoll an einem Beiſpiel erläutert werden. Station I ſoll Station II anrufen. I dreht alſo den Hebel S aus der Anrufſtellung (rechter Kontakt) in die Sprechſtellung (linker Kontakt) und drückt den Knopf PB. Dann fließt der Strom der Batterie B vom Pluspol über die Abzweigung 1, die Leitung L_1, die Abzweigung 3, die Wicklung der Glocke EB_2, den auf dem linken Kontakt ruhenden Hebel S_2 zur Abzweigung 4, und durch die Leitung L_2, die Abzweigung 2, den Hebel S zurück zum Minuspol der Batterie. Die Glocke EB_2 ertönt und ruft unſern Kameraden herbei.

Der Angerufene nimmt den Hörer vom Haken und ſtellt ſeinen Umſchalter gleichfalls auf Sprechſtellung. Dadurch werden die beiden Sprechapparate über die Batterien direkt miteinander verbunden, ſo daß das Geſpräch ſtattfinden kann. Iſt man fertig, ſo werden die Hörer angehängt und die Umſchalterhebel in die Anrufſtellung zurückgebracht. Die Anlage iſt dann zum nächſten Anruf bereit.

Zu beachten iſt, daß beide Batterien mit entgegengeſetzten Polen an die Leitung gelegt werden müſſen. Im andern Fall würden ſie gegeneinander arbeiten, ſich alſo ſchwächen, ſtatt ſich zu unterſtützen. Für jede Batterie genügen 2—3 große Trockenelemente, die hintereinander zu ſchalten ſind.

4. Das Mikrophon.

Dieſe einfache Fernſprechanlage genügt nur für geringe Entfernungen, etwa für Leitungen bis zu 30 oder 40 m Drahtlänge. Iſt die zweite Station weiter entfernt, ſo müſſen wir noch ein Mikrophon einſchalten, einen Lautverſtärker, deſſen

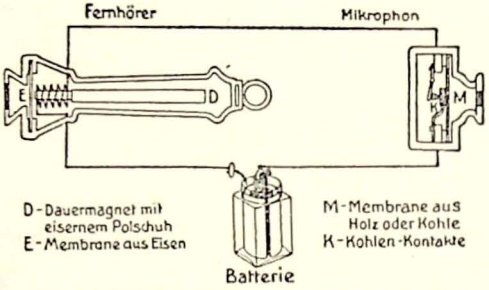


Abb. 117. Schematiſche Darſtellung des Mikrophonprinzips.

Prinzip uns Abb. 117 erläutert. Danach beſteht das Mikrophon aus einer dünnen Holzplatte M, die auf der Rückſeite ein Kohleklötzchen K trägt. Gegen dieſes Klötzchen drückt ein Kohleſtift, der an einer Feder ſitzt. Von den Kohlekontakten führen Drähte zu einer Batterie und einem Fernhörer. Der Stromkreis der Batterie iſt über den Hörer und die Berührungsſtelle der beiden Kohleſtückchen geſchloſſen, d. h., es fließt ſtändig

Strom durch die Leitung. Dieſer Strom iſt außerordentlich ſchwach, weil der Widerſtand an der Berührungsſtelle der Kohlen ſehr groß iſt. Verſetzt man aber die Membran M dadurch, daß man gegen ſie ſpricht, in Schwingungen, ſo ändert ſich der Berührungswiderſtand fortwährend, weil die Kohlenklötzchen bald ſtärker, bald ſchwächer aneinandergepreßt werden. Infolgedeſſen wird der Stromkreis jetzt von Strömen wechſelnder Stärke durchfloſſen, die die Membran des Fern-

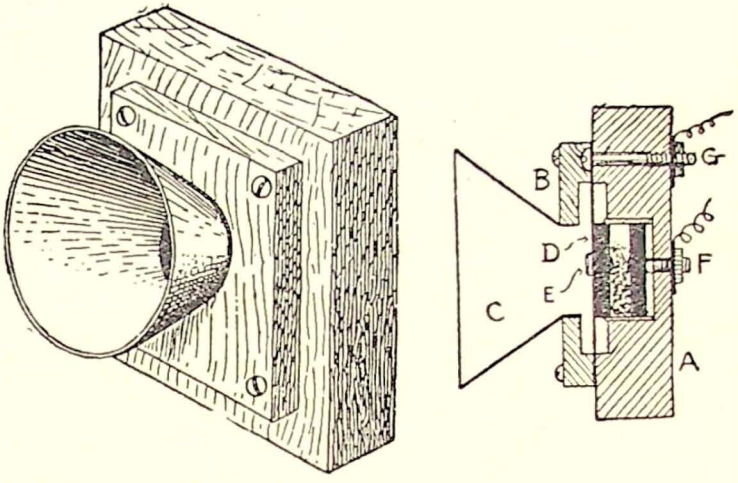


Abb. 118. Einfaches Kohlenkörner-Mikrophon links Anſicht, rechts Schnitt.

hörers auf die uns bekannte Weiſe in Schwingungen verſetzen. Der Fernhörer wiederholt alſo die Worte, die in das Mikrophon hineingeſprochen wurden.

Die Praxis hat dieſe einfache Mikrophonform bald umgewandelt, da es ſich als vorteilhaft erwies, zahlreiche Kontaktſtellen ſtatt einer einzigen zu ſchaffen. Bei den modernen Mikrophonen liegen deshalb zwiſchen zwei Kohlenplättchen viele feine Kohlenkörner. Die ſchwingende Membran preßt das eine Kohlenplättchen gegen die Körner, die dann gegen die zweite

Kohle drücken. Dadurch verändert ſich der Berührungswiderſtand noch ſtärker.

In Abb. 118 iſt ein für unſere Zwecke geeignetes einfaches Körnermikrophon dargeſtellt. Als Grundbrett dient ein trockener aſtfreier Hartholzblock A von 10 cm Länge und Breite und mindeſtens 3 cm Dicke. In der Mitte bringt man eine kreisförmige Vertiefung von 2 cm Durchmeſſer und 1,3 cm Tiefe an, um die herum man das Holz auf 3 mm Tiefe ſo weit wegſchneidet, daß eine vertiefte Ringfläche von 4 cm Durchmeſſer entſteht. Die Holzplatte B iſt 6 cm lang, 6 cm breit und 1 cm dick. Sie hat in der Mitte eine kreisrunde Öffnung von 2 cm Durchmeſſer. Die an der Rückſeite das Loch ringförmig umſchließende Vertiefung (Durchmeſſer 4 cm, Tiefe 3 mm) muß ſich mit der in A genau decken. Der Zweck beider Vertiefungen iſt, der Membran D genügend Raum für ihre Schwingungen zu ſchaffen.

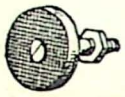


Abb. 119. Eines der mit feinen Rillen verſehenen Kohlenklötzchen für das Mikrophon.

Die ſchwarz gezeichneten, kreisrunden Kohlenklötzchen (Durchmeſſer 1,8 cm, Dicke 3—4 mm) ſägt man am beſten von einer Rundkohle ab. Beide Klötzchen werden in der Mitte durchbohrt und auf der einen Seite mit einem dichten Netz feiner Rillen verſehen, die man mit der Laubſäge einſchneidet (vergl. Abb. 119). Beim Zuſammenſetzen ſind die ſo hergerichteten Flächen einander zuzukehren. Weiter füttert man die 2-cm-Vertiefung in A mit dünnem Flanell aus, legt den Kohlenblock hinein, ſteckt eine kleine Meſſingſchraube durch die Bohrung, die Flanellſchicht und den Block A hindurch und ſchraubt eine Gegenmutter auf das aus A hervorragende Ende, ſo daß der Kohlenblock feſt in der flanellgefütterten Höhlung ſitzt. Der Schraubenkopf iſt zu verſenken. Unter der Schraubenmutter bringt man eine kleine Meſſingunterlegſcheibe an, um ſpäter den Zuführungsdraht zur Leitung bequem befeſtigen zu können.

Die viereckige Membran D (Seitenlänge 6 cm) kann nach Belieben aus Holz oder Blech hergeſtellt werden. Sie muß

nur ſo dünn ſein, daß ſie den Schallſchwingungen leicht zu folgen vermag. Gut geeignet iſt Aluminiumblech von 0,3 mm Stärke, auch bekommt man in den elektrotechniſchen Geſchäften beſonderes Membranblech. Meſſing- oder Weißblech von 0,2 bis 0,3 mm Stärke läßt ſich aber ebenfalls verwenden. In der Mitte der Membran wird das zweite Kohlenklötzchen befeſtigt. Dann legt man A flach auf den Tiſch und füllt den Hohlraum über ſeiner Kohle etwa zur Hälfte mit feinen Kohlenkörnern, die man in einem elektrotechniſchen Geſchäft kauft. Man muß darauf achten, daß man nicht etwa Kohlenpulver bekommt, das im Laufe der Zeit zuſammenbackt. Dadurch vermindert ſich die Wirkſamkeit des Mikrophons ſtark. Durch vorſichtiges Klopfen gegen die Membran läßt ſich der Schaden allerdings heilen, doch iſt es beſſer, von vornherein größere Körner (Durchmeſſer etwa 1 mm) zu verwenden. Die Membran wird ſo auf A befeſtigt, daß die Membrankohle die Vertiefung in A ſchließt. Der Meſſingbolzen G dient zur Verbindung der Membran mit einem Zuführungsdraht, der zwiſchen der auf G geſchraubten Mutter und ihrer Unterlegſcheibe feſtgeklemmt wird. Schraubt man zum Schluß noch die Platte B auf, in deren Öffnung man inzwiſchen einen kleinen Schalltrichter aus Blech befeſtigt hat, ſo iſt das Mikrophon fertig. Es wird ſenkrecht an die Wand gehängt, ſo daß die Kohlenkörner die aus Abb. 118 erſichtliche Lage einnehmen, alſo beide Kohlenplatten berühren.

Für den Gebrauch iſt es ſehr praktiſch, das Grundbrett A unſeres Mikrophons zum Deckel eines kleinen Schränkchens zu machen und in dieſem „Gehäuſe“ die Hilfsapparate unterzubringen. Dadurch bekommt unſere Fernſprechſtation, wie Abb. 120 zeigt, ein ſehr gefälliges Ausſehen.

5. Das Fernſprechgehäuſe und der Hakenumſchalter.

Die Größe des Gehäuſes richtet ſich nach der Größe der unterzubringenden Nebenapparate, insbeſondere der Anrufglocke. Im allgemeinen wird man mit einem 13 cm breiten, 18 cm hohen und etwa 7 cm tiefen Käſtchen auskommen. Die

Bodenplatte ſoll 2—3 cm breiter und 4—5 cm länger ſein, damit oben und an den Seiten ein ſchmaler, unten aber etwa 4 cm breiter freier Rand übrig bleibt. Wie die Abbildung zeigt, werden unten die Anſchlußklemmen befeſtigt. Das fertige Gehäuſe wird an die Wand gehängt, iſt alſo mit kräftigen Öſen zu verſehen.

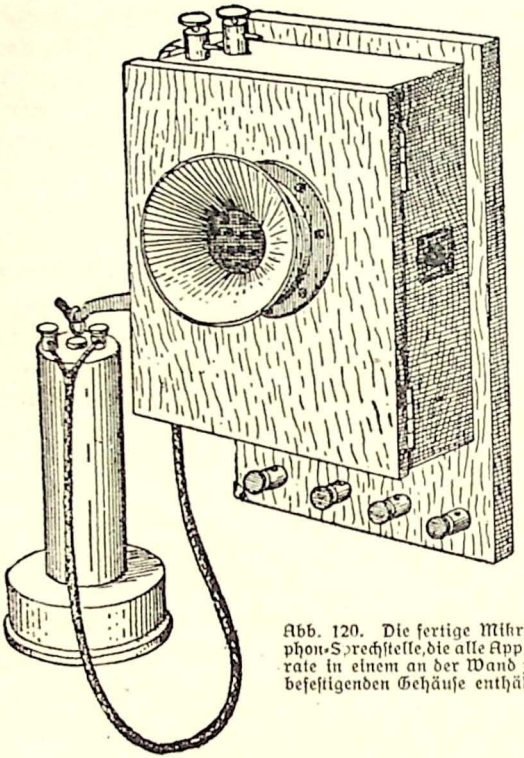


Abb. 120. Die fertige Mikrophon-Sprechſtelle, die alle Apparate in einem an der Wand zu befeſtigenden Gehäuſe enthält.

Statt des Hebelumſchalters, der hier unpraktiſch iſt, weil wir das Gehäuſe jedesmal öffnen müßten, um umzuſchalten, benutzen wir einen ſogen. Hakenumſchalter, der das Umſchalten auf Anruf- bzw. Sprechſtellung ſelbſttätig beſorgt. Abb. 121 erläutert die Bauart. Die linke Seitenwand des Käſtchens erhält einen 2—2½ cm langen Schlitz, deſſen Breite ſo bemeſſen

wird, daß ſich der aus ſtarkem Meſſingblech geſchnittene Hakenhebel B frei darin auf- und abbewegen kann. An dieſem Hebel wird der Fernhörer aufgehängt. Das Gewicht des Hörers zieht den in dem Winkelſtück A (anzufertigen aus 2 mm ſtarkem

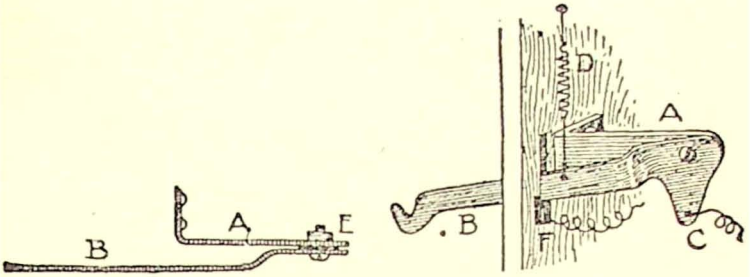


Abb. 121. Hakenumſchalter; rechts von der Seite, links von oben geſehen.

Meſſingblech) drehbar gelagerten Hebel auf den Kontakt F, ein Meſſingplättchen, herunter, deſſen ſchmalgeſchnittenes oberes Ende in den Seitenwandſchlitz hineingebogen wird. An dieſem Kontakt bringt man zweckmäßig eine kleine Klemmſchraube an. Als Achſe für den Hebel B dient eine kleine Meſſing-

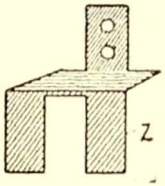


Abb. 122. Gleitkontakt für den Hakenumſchalter.

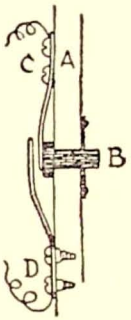


Abb. 123. Anruftaſte.

ſchraube E mit Gegenmutter. Zwiſchen Hebel und Winkelſtück wird eine Unterlegſcheibe eingeſchoben, um die Reibung zu vermindern. Weiter iſt noch eine ſtarke Schraubenfeder in den Hebel einzuhängen, deren anderes Ende an einem in die

linke Seitenwand geſchlagenen Stift befeſtigt wird. Dieſe Feder, die wir in Abb. 121 bei D ſehen, zieht den Hebel, ſobald der Fernhörer vom Haken genommen wird, nach oben und legt ihn gegen den an der Gehäuſerückwand befeſtigten, aus ſtarkem Meſſingblech zurechtgebogenen Gleitkontakt B (vergl. Abb. 124), deſſen Form ſich aus Abb. 122 ergibt. Der herabgezogene Hebel darf B natürlich nicht berühren. Wie der Hakenumſchalter in den Stromkreis eingeſchaltet wird, werden wir hernach noch hören.

Die zur Betätigung der Anrufglocke dienende Drucktaſte wird gleichfalls in das Gehäuſe eingebaut und zwar in die rechte Seitenwand. Abb. 123 veranſchaulicht die Konſtruktion. A iſt die Gehäuſewand, B der aus Holz oder Fibre geſchnittene Druckknopf, C und D ſind zwei ſtarke Meſſingfedern, die bei einem Druck auf den Knopf aneinandergepreßt werden. Die Feder C muß ſo ſtark ſein, daß ſie den Druckknopf ſtets wieder zurückſchnellt. Am beſten wird der Knopf mit einer kleinen Schraube an C befeſtigt. Eine außen an der Gehäuſewand feſtgeſchraubte, mit einer entſprechenden Öffnung verſehene kleine Meſſingplatte gibt dem Knopf eine feſtere Führung.

Zum Anruf verwendet man am beſten eine Raſſelglocke oder, wenn das Signal nicht laut zu ſein braucht, einen Summer. Iſt die Glocke ſehr groß, ſo läßt man Klöppel und Glockenſchale unten aus dem Gehäuſe hervorragen. Dieſe Anordnung empfiehlt ſich auch bei kleineren Apparaten, wenn der Anruf in mehreren Räumen vernehmbar ſein ſoll. Die Gehäuſerückwand iſt dann entſprechend zu vergrößern.

Wie die einzelnen Apparate im Gehäuſe anzuordnen und miteinander, ſowie mit dem Mikrophon und den Anſchlußklemmen für Leitung und Batterie zu verbinden ſind, ergibt ſich aus Abb. 124. EB iſt die Anrufglocke, LS der Hakenumſchalter, B der zugehörige Gleitkontakt, PB der Druckknopf, T das Mikrophon und R der Fernhörer. Mit den Klemmen 1 und 2 wird die Leitung verbunden, mit den Klemmen 3 und 4 die je nach der Leitungslänge aus 3—4 oder mehr Trocken-

elementen beſtehende Batterie. Zwiſchen die Klemmen 5 und 6 wird der Fernhörer geſchaltet. Dazu benutzt man biegſame, zweiadrige Leitungsſchnur (etwa ¾ m).

Die zum Mikrophon führenden Anſchlußdrähte werden mit den beiden den Deckel haltenden Scharnieren verlötet. Iſt der

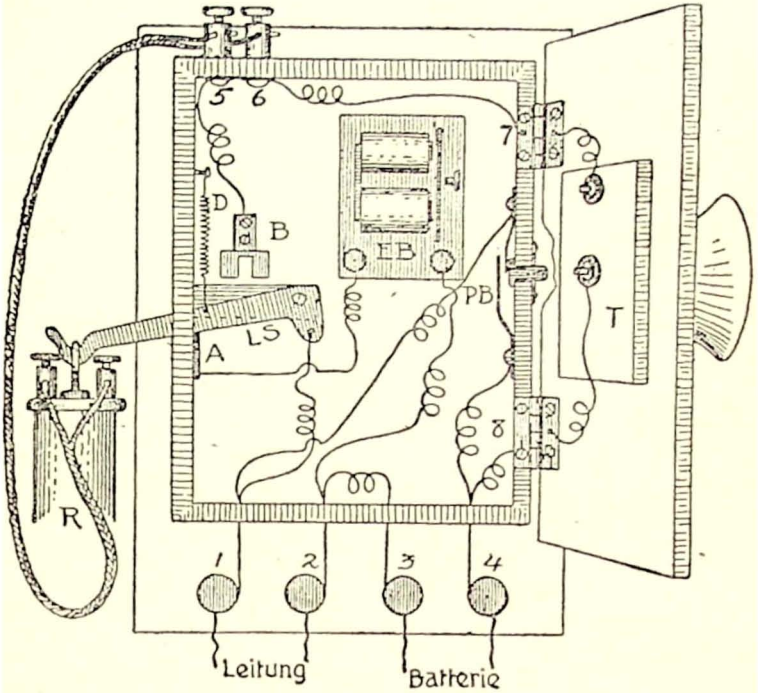


Abb. 124. Innenanſicht der in Abb. 120 gezeigten Mikrophon-Sprechſtelle. Die Abbildung veranſchaulicht, wie die Apparate untereinander und mit den Klemmen zu verbinden ſind.

Kontakt der Scharnierflügel nicht innig genug, ſo lötet man ein paar feine Kupferdrähtchen mit dem einen Ende ſo an jeden Scharnierflügel an, daß ſich die etwas aufgebogenen freien Enden beim Schließen des Deckels gegen den andern Flügel preſſen.

Die Drahtverbindungen im Gehäuſe werden ſämtlich aus

baumwollumsponnenem Kupferdraht von 1 mm Durchmesser hergestellt. Nach Möglichkeit sind die Verbindungsdrähte glatt auszuspannen und mit kleinen Krampen gut zu befestigen. Für Kreuzungen gelten die auf S. 157 gegebenen Regeln. Das Ende des zum Hebel des Hakenumschalters führenden Drahtes wickelt man über einem Bleistift zu einer kleinen Spirale auf.

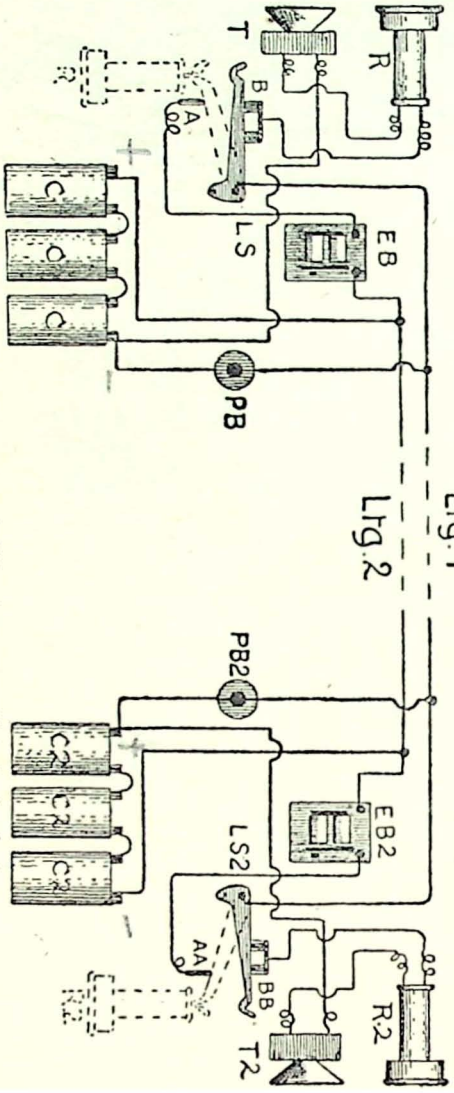


Abb. 125. Schaltungsskizze für eine mit Mikrophonen ausgerüstete Fernsprechanlage; die beiden Sprechstellen sind durch eine Doppelleitung verbunden.

Die Batterie wird in einem besonderen Kästchen in der Nähe der Sprechstelle untergebracht, so daß sie leicht zugänglich ist. Von Zeit zu Zeit muß sie nachgesehen werden. Daß die beiden Batterien mit entgegengesetzten Polen an die Leitung zu legen sind wurde bereits auf S. 172 erwähnt.

Über den Betrieb einer mit Mikrophongehäusen ausgerüsteten Fern-

ſprechanlage nur wenige Worte. Der Stromlauf läßt ſich an der Hand von Abb. 125 bequem verfolgen. Ein Vergleich mit Abb. 116 zeigt, daß die beiden Schaltungen ſich nur dadurch unterſcheiden, daß in der neuen die Mikrophone hinzugefügt und die Hebelumſchalter durch Hakenumſchalter erſetzt ſind. Die Hakenumſchalter bringen eine weſentliche Vereinfachung des Betriebes mit ſich. Solange nicht geſprochen wird, hängt der Fernhörer am Umſchalterhaken, der dadurch in die geſtrichelt gezeichnete Lage gebracht wird. Die Leitung iſt dann auf beiden Seiten an die Anrufglocken angeſchloſſen. Will man ſprechen, ſo nimmt man den Hörer ab und drückt gleichzeitig auf den Anrufknopf. Beim Abnehmen des Hörers ſchaltet der Hakenumſchalter die Leitung in unſerm Gehäuſe ſelbſttätig auf Sprechſtellung um. Er ſchaltet alſo die Anrufglocke aus und dafür Fernhörer und Mikrophon ein. Auf der andern Station ertönt inzwiſchen die Anrufglocke. Nimmt unſer Freund dann dort den Hörer vom Haken, um auf den Anruf zu antworten, ſo ſchaltet auch ſein Hakenumſchalter die Sprechapparate ein. Hängt man nach beendetem Geſpräch die Hörer wieder an, ſo wird der Sprechſtromkreis ſelbſtändig unterbrochen und die Leitung auf die Anrufglocken geſchaltet.

Zwölftes Kapitel.

Dynamomaſchinen.

1. Allgemeines.

Wenn ſich ein mit iſoliertem Kupferdraht bewickelter Eiſenkern zwiſchen den Polen eines Magneten dreht, entſtehen in der Wicklung durch Magnetinduktion elektriſche Ströme, die man ableiten und zum Antrieb anderer Apparate verwerten kann. Das iſt das ganze Geheimnis der Dynamomaſchinen, die den Starkſtrom unſrer Elektrizitätswerke liefern.

Wie man den Strom aus der ſich drehenden Wicklung ableitet, zeigt uns Abb. 126. NS iſt der Magnet (hier Feldmagnet genannt), AB die Achſe, auf der ſich der bewickelte Eiſenkern (der ſogen. Anker) dreht. Die Enden der Wicklung ſind mit zwei iſoliert auf der Achſe befeſtigten Kupferringen R und R_1 verbunden, die ſich mit dem Anker drehen. Auf dieſen Ringen ſchleifen die federnden Kupferſtreifen C und C_1, die Bürſten. An dieſe Bürſten wird der Verbrauchs-Stromkreis angeſchloſſen. Der ſich drehende Anker gibt dann die in ſeiner Wicklung induzierten elektriſchen Ströme an die Schleifringe ab, von denen ſie über die Bürſten in den äußeren Stromkreis gehen.

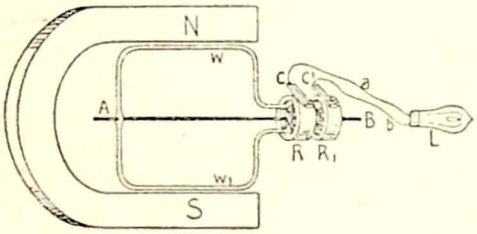


Abb. 126. Schema einer Wechſelſtrom-Dynamo mit feſtſtehendem Feldmagnet und drehbarem Anker, der mit zwei Schleifringen verbunden iſt; die darauf ſchleifenden Federn führen den Strom in den Außenſtromkreis.

Die auf dieſe Weiſe erhaltenen Ströme unterſcheiden ſich allerdings von denen, die eine galvaniſche Batterie liefert, weſentlich. Unſere Maſchine liefert nämlich einen Strom, der ſeine Richtung und Stärke fortwährend ändert. Grund: Der Nordpol des Feldmagneten beeinflußt die ihm gegenüberliegenden Drähte der Wicklung entgegengeſetzt wie der Südpol. Fließt beiſpielsweiſe der Strom in der Windung W von vorn nach hinten, ſo fließt er in W_1 von hinten nach vorn. Kommt nun W_1 bei der Ankerdrehung in den Bereich des Nordpols, ſo kehrt ſich die Richtung des darin fließenden Stromes um. Jetzt wird W_1 von einem von vorn nach hinten gehenden Strom durchfloſſen, während der Strom in W von hinten nach vorn geht. Gleichzeitig ſchwanken die Stromſtöße auch in der Stärke, da die Windungen, wenn ſie gerade vor den Polen liegen, ſtärker induziert werden, als wenn ſie ſich den Polen nähern oder ſich davon entfernen. Stehen die Windungen gar ſenkrecht zwiſchen den Polen, ſo ſind ſie ſtromlos, da ſich

dann die induzierenden Wirkungen der beiden Pole aufheben. Die Stärke des Stromes ſchwankt alſo bei jeder Umdrehung zweimal von Null bis zu einem Maximum. Ebenſo wechſelt die Stromrichtung bei jeder Umdrehung zweimal. Mit derartigen Wechſelſtrömen iſt für uns ſchlecht arbeiten, weil die meiſten Apparate für Gleichſtrom eingerichtet ſind. Eine Klingelanlage läßt ſich beiſpielsweiſe mit Wechſelſtrom nicht betreiben. Man muß dann ſchon beſondere Wechſelſtromklingeln bauen. Elektromotoren laſſen ſich gleichfalls beſſer mit Gleichſtrom ſpeiſen. Bei Glühlampen iſt es gleichgültig, ob Wechſel- oder Gleichſtrom verwendet wird, nur muß die Wechſelſtrommaſchine ſehr ſchnell laufen, da ſonſt durch die Stromſchwankungen ein flimmerndes Licht entſteht, das für die Augen ſehr unangenehm iſt. Folgen die Stromſtöße ſehr ſchnell aufeinander, ſo verſchwindet das Flimmern, da unſere Augen die Lichtſchwankungen nicht mehr wahrnehmen können. Galvanoplaſtiſche Verſuche und andere elektrochemiſche Arbeiten laſſen ſich mit Wechſelſtrom überhaupt nicht ausführen. Für ſolche Experimente iſt Gleichſtrom Bedingung. Wir können alſo mit einer Wechſelſtrommaſchine nicht viel anfangen, aber wir brauchen deshalb die Flinte nicht ins Korn zu werfen. Es gibt nämlich ein ganz einfaches Mittel, den Wechſelſtrom in Gleichſtrom umzuwandeln. Sehen wir uns einmal Abb. 127 an. Bei der in dieſer Abbildung ſkizzierten Maſchine ſind die Schleifringe fortgenommen worden. Dafür ſitzen zwei voneinander iſolierte Halbringe R und R_1 auf der Achſe. Auf dieſen Halbringen ſchleifen die Bürſten, die mit dem Außenſtromkreis verbunden ſind. Der eine Halbring iſt mit dem Anfang, der andere mit dem Ende der Ankerwicklung verbunden. Beide Halbringe zuſammen heißen Kommutator (= Stromwender) oder Kollektor (= Sammler). Dreht ſich der Anker, ſo entſtehen wieder Ströme wechſelnder Richtung in ſeiner Wicklung. Im Außenſtromkreis fließt der Strom aber dennoch in einer Richtung, alſo etwa von der Bürſte 1 fort durch die Verbrauchsapparate zur Bürſte 2 hin. Dieſes Wunder erklärt ſich folgendermaßen: Bei der in Abb. 127

gezeichneten Ankerſtellung liegt der Halbring R an der Bürſte 1, H der Halbring R_1 an der Bürſte 2. Dreht ſich der Anker, ſo geht die Bürſte 1 nach einer vollendeten halben Umdrehung auf den Halbring R_1 über, während ſich die Bürſte 2 auf R legt. Nach der nächſten halben Umdrehung nehmen die Bürſten wieder die Anfangsſtellung ein. Bei jeder Umkehr der Stromrichtung in der Wicklung wird alſo auch der Anſchluß der Außenleitung an die Schleifringe umgekehrt. Und dieſe doppelte Umkehrung bewirkt, daß der Außenſtromkreis ſtets in der gleichen Richtung vom Strom durchfloſſen wird. Im Außenſtromkreis fließt alſo Gleichſtrom, trotzdem die Maſchine Wechſelſtrom liefert. Allerdings hat dieſer Gleichſtrom die Eigentümlichkeit, daß ſeine Stärke bei jeder Umdrehung zweimal von Null bis zu einem Maximum wächſt u. langſam wieder auf Null herabgeht, aber das ſchadet nichts. Dieſer undulierende oder pulſierende Gleichſtrom, wie man ihn nennt, läßt ſich für Experimentierzwecke ebenſogut verwenden, wie der ſtets gleichmäßig ſtarke Strom, den unſere Elemente liefern. Übrigens kann man die Schwankungen durch einen kleinen Kunſtgriff, nämlich dadurch, daß man dem Anker mehrere miteinander verbundene Wicklungen gibt, ſtark vermindern. Von dieſer Maßregel werden wir ſpäter Gebrauch machen.

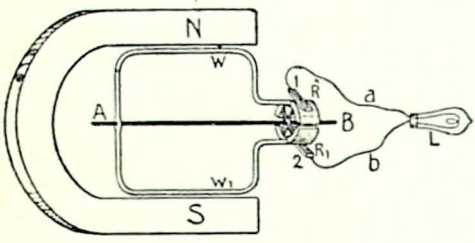


Abb. 127. Schema der Gleichſtrommaſchinen, bei denen der in den Ankerwindungen erzeugte Wechſelſtrom durch den Stromwender R R_1 gleichgerichtet wird.

Nun aber endlich an die Arbeit! Zunächſt wollen wir eine ſogen. „magnetelektriſche Maſchine“ bauen, bei der ein Dauermagnet als Feldmagnet verwendet wird. Wie wir ſpäter ſehen werden, kann man auch Elektromagnete benutzen. Die Elektromagnet-Maſchinen ſind die eigentlichen Dynamomaſchinen, doch können wir den Namen ruhig auch auf Dauermagnet-Maſchinen anwenden. Die Bezeichnung ſagt näm-

lich nichts anderes, als daß durch dieſe Maſchinen Arbeit oder Kraft (griechiſch dynamis), alſo mechaniſche Energie, in elektriſche Energie umgewandelt wird. Und das geſchieht bei den magnetelektriſchen Maſchinen auch.

2. Eine einfache magnetelektriſche Maſchine.

Das Ziel unſerer Arbeit führt uns Abb. 128 vor Augen. Als Feldmagnet wird ein großer, hufeiſenförmiger Dauermagnet mit parallelen Schenkeln verwendet. Reicht unſer Taſchengeld aus, ſo kaufen wir ihn fertig. (Friedenspreis etwa Mk. 2.— bis Mk. 2.50.) Im andern Fall muß uns der Schmied ein paſſendes Hufeiſen liefern, für das folgende Maßangaben gelten: Länge 25 cm, Zwiſchenraum zwiſchen den Schenkeln 4,4 cm, Breite jedes Schenkels 3,3 cm, Dicke 1,3 cm. Das Hufeiſen erhält vier Löcher für verſenkte Befeſtigungsſchrauben und wird dann gut gehärtet. Darauf verſieht man es mit einer proviſoriſchen Wicklung (3—4 Lagen Kupferdraht von 1,5 mm Stärke), durch die man einen ſtarken Magnetiſierungsſtrom ſchickt. Der Strom muß ſo lange einwirken, bis der Magnet (bei ausgeſchaltetem Strom) ſtark genug iſt, ein Stück Eiſen von 10 Pfund Gewicht zu tragen.

Der fertige Magnet wird mit verſenkten Meſſingſchrauben auf zwei 18 cm langen Holzblöcken von 3,3 cm Breite und gleicher Dicke befeſtigt, die auf einem 35 cm langen, 21 cm breiten und 2 cm dicken Grundbrett ſitzen. Der Magnet muß genau in der Mitte des Grundbretts liegen, alſo von allen vier Seiten gleich weit entfernt (vergl. Abb. 129).

Der in Abb. 130 geſondert gezeichnete Ankerkern wird aus einem kreisrund abgedrehten Eiſenbolzen (weiches Eiſen!) von 4 cm Durchmeſſer und 13 cm Länge angefertigt. Die rings herumlaufende Nut iſt 1,3 cm tief und 1,6 cm breit. Man kann ſie durch Ausfeilen herſtellen, doch iſt das eine ſehr mühſame Arbeit. Deshalb tut man beſſer daran, den Ankerkern in einer Maſchinenſchloſſerei anfertigen zu laſſen. Die ſcharfen Kanten des Steges müſſen abgerundet werden.

Zur Befeſtigung der Ankerwelle dienen auf die Stirn-

flächen des Bolzens geſchraubte, runde Meſſingſcheiben von 4 cm Durchmeſſer und 6 mm Dicke, die man nach Abb. 131 dreimal durchbohrt. In die mittlere, mit Gewinde verſehene Bohrung wird ſpäter die Ankerwelle eingeſchraubt.

Für die Ankerwelle wird 6 mm ſtarker Stahldraht benützt. Man braucht zwei Stücke (vergl. Abb. 140), eines von 16,

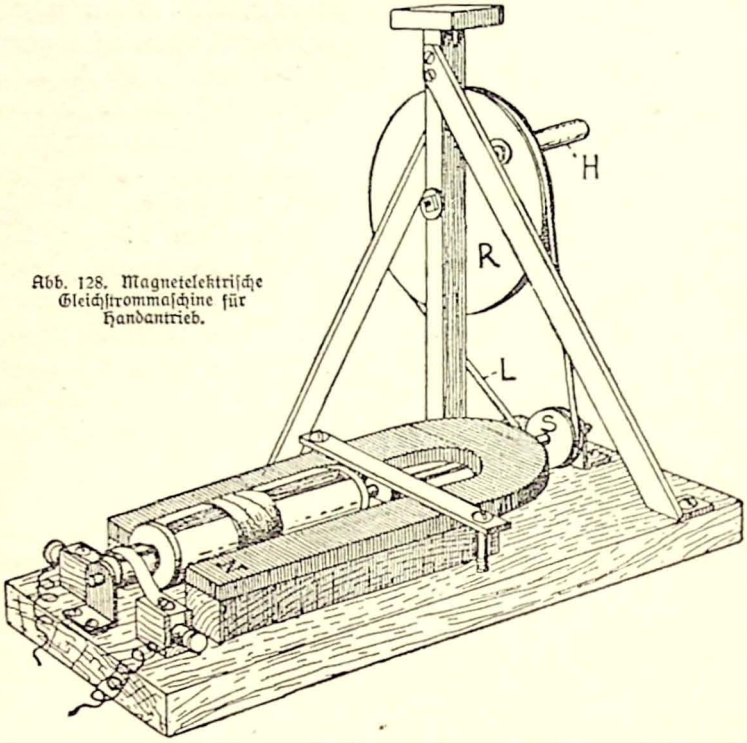


Abb. 128. Magnetelektriſche Gleichſtrommaſchine für Handantrieb.

eines von 5 cm Länge. Beide werden an einem Ende mit einem Schraubengewinde verſehen, das in das Gewinde der Stirnſcheiben-Bohrung paſſen muß.

Als Lager für die Welle dienen zwei Meſſingwinkel der in Abb. 132 gezeichneten Form, die man aus etwa 2 mm dickem Meſſingblech biegt. Die Bohrung des ſenkrechten Schenkelſtücks nimmt die Welle auf. Wie die Lager auf dem Grundbrett zu

montieren ſind, zeigt Abb. 141 (bei B und BB). Ein drittes Lager für die Welle befindet ſich unter dem Querbügel C der Abb. 141, den uns Abb. 133 genauer zeigt. Der Bügel iſt 13 cm lang, 1 cm breit und 2—3 mm dick. Das an der Unterſeite angelötete Meſſingblöckchen D iſt 1 cm dick. In der Bohrung muß ſich die Welle faſt ohne Reibung drehen. Der fertige Bügel wird nach Abb. 134 mit langen Meſſingſchrauben am Grundbrett befeſtigt.

Auf das hintere Ende der Ankerwelle wird eine aus Buchsbaum- oder Ahornholz angefertigte Schnurſcheibe (Ab-

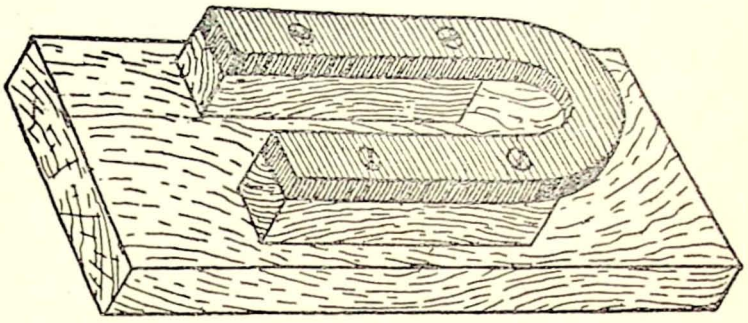


Abb. 129. Wie der Feldmagnet auf dem Grundbrett befeſtigt wird.

bildung 135) von 3 cm Durchmeſſer und 1,3 cm Breite aufgekeilt. Die Nut am Umfang ſoll ziemlich tief ſein.

Jetzt kommt der Kollektor, der Stromwender, an die Reihe, den uns Abb. 136 zeigt. Wir brauchen dazu einen aus Buchsbaum- oder Ahornholz gedrechſelten Zylinder von 2 cm Durchmeſſer und 2,6 cm Länge, den wir genau in der Mitte der Länge nach durchbohren. Die Bohrung ſoll 6 mm weit ſein. Sodann beſtreichen wir ihn außen dick mit Schellack und ſchieben ein gleichlanges Stückchen Kupferrohr von 0,5—1 mm Wandſtärke darüber, das genau paſſen muß. Um ein Verſchieben ſicher zu verhindern, befeſtigt man die Kupferhülle noch mit zwei kleinen, um 180° gegeneinander verſetzten Meſſingſchrauben mit runden Köpfen. Die Schrauben müſſen ſo kurz ſein, daß ſie die Innenbohrung nicht erreichen. Iſt der Schellack

trocken, ſo ſpannt man den Zylinder vorſichtig in einen Schraubſtock und ſägt die Kupferhülle zweimal der Länge nach ſo durch, daß zwei Halbringe entſtehen. Die Schnittfugen ſollen etwa 1 mm breit ſein. Sie werden ſauber ausgefeilt. Damit iſt der Kollektor fertig. Er wird von vorn auf die Ankerwelle geſchoben, ſo daß er die aus Abb. 141 F erſichtliche Stellung

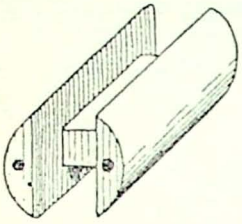


Abb. 130. Ankerkern.

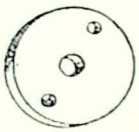


Abb. 131. Meſſingſcheibe zur Befeſtigung der Ankerachſe am Ankerkern.

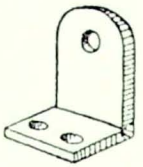


Abb. 132. Als Achslager dienender Meſſingwinkel.

erhält. Gegen die Stirnſeite des Ankers wird er durch eine Fibre- oder Hartgummiplatte von 1 mm Dicke und 3 cm Durchmeſſer iſoliert. Er muß natürlich ſtramm auf die Achſe paſſen, damit er ſich während der Ankerdrehung nicht verſchiebt.

Als Bürſten verwenden wir zwei federnde Meſſingſtreifen von 1 cm Breite, die wir rechtwinklig umbiegen und nach

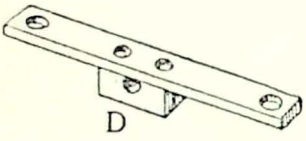


Abb. 133. Der das dritte Achslager tragende Querbügel.

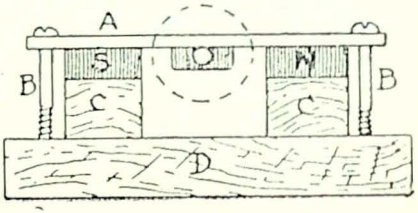


Abb. 134. Wie der das dritte Achslager tragende Querbügel befeſtigt wird.

Abb. 137 ſo auf zwei würfelförmigen Holzblöckchen von 3,3 cm Kantenlänge befeſtigen, daß der längere Schenkel jeder Feder 4—4,5 cm frei vorſteht. Die auf den Federn ſitzenden Klemmen dienen zur Ableitung des erzeugten Stromes. Über die Befeſtigung der Bürſtenhalter G auf dem Grundbrett gibt Abbildung 141 Auskunft. Die eine Bürſte ſchleift oben auf dem

Kollektor, die andere preßt ſich von unten her dagegen (vergl. Abb. 128). Die Bürſten ſind alſo entſprechend zurechtzubiegen.

Jetzt kommt der ſchwierigſte Teil der ganzen Arbeit: das Wickeln des Ankers. Der Draht darf nirgendwo mit dem blanken Eiſen in Berührung kommen. Die Nut des Kerns iſt daher zunächſt ſorgfältig mit Paraffinpapier auszukleiden. Die einzelnen Windungen werden der Länge nach durch die Nut geführt (vergl. Abb. 138), ſie ſollen glatt neben- und übereinander liegen. Die Wicklung ſoll die Nut ganz ausfüllen, jedoch nicht über den Ankerumfang hervorragen. Abbildung 139 zeigt, wie der bewickelte Anker im Querſchnitt ausſehen muß. Die fertige Wicklung wird mit flüſſigem Pa-

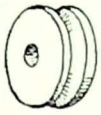


Abb. 135. Schnurſcheibe.

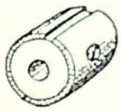


Abb. 136. Zweiteiliger Stromwender (Kollektor).

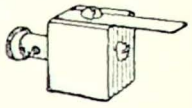


Abb. 137. Ankerbürſte mit Klemmſchraube und Holzklötzchen.

raffin getränkt und dann nach Abb. 140 mit paraffiniertem Leinenband umſchnürt. Dieſe Maßregeln verhindern ein Abſchleudern der Wicklung durch die bei der Ankerdrehung entſtehende Fliehkraft.

Die Dicke des zu verwendenden Drahtes richtet ſich danach, ob man Ströme großer Stärke oder hoher Spannung zu erhalten wünſcht. Eine Wicklung aus dünnem Draht liefert Strom geringer Stärke, aber dafür höherer Spannung. Bei einer Wicklung aus dickem Draht herrſcht das umgekehrte Verhältnis. Im allgemeinen wird man mit Draht von 0,8 bis 1 mm Stärke am beſten fahren. Doppelt mit Seide umſponnener Draht empfiehlt ſich ſehr, doch kann man auch ſogen. Dynamodraht, der zweimal mit Baumwolle umſponnen und dann ſchellackiert iſt, verwenden. Die Enden der Wicklung werden durch die vordere Stirnſcheibe geführt und nach Abbildung 140 mit den Halbringen des Kollektors verlötet. Selbſtverſtändlich muß man darauf achten, daß die Drähte

gegen die Stirnſcheibe gut iſoliert ſind. Ein Umwickeln mit Iſolierband iſt zu empfehlen.

Beim Zuſammenſetzen der Maſchine dient Abb. 141 als Muſter. Zwiſchen Anker und Magnetſchenkeln verbleibt beiderſeits ein Zwiſchenraum von etwa 2 mm Breite. Zwiſchen das Lager B und den Kollektor, ſowie zwiſchen das Lager BB und die Schnurſcheibe wird je eine dünne Meſſing-Unterlegſcheibe eingeſchoben, um die Reibung möglichſt zu vermindern. Von vorn nach hinten ſoll die Welle höchſtens 2 mm Spielraum haben.

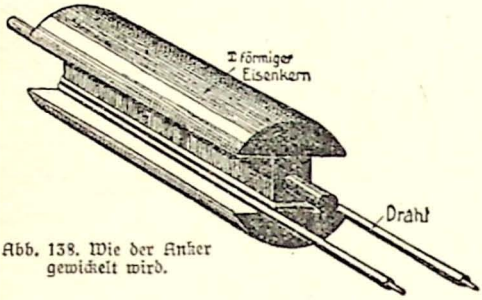


Abb. 138. Wie der Anker gewickelt wird.

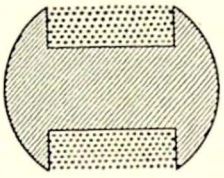


Abb. 139. So ſoll der bewickelte Anker im Querſchnitt ausſehen.

Nun haben wir nur noch für den Antrieb unſerer Maſchine zu ſorgen. Am einfachſten iſt es, wenn wir ſie mit Handantrieb verſehen. Die dazu nötige Einrichtung zeigt Abb. 128. Das Triebrad R beſitzt 15—20 cm Durchmeſſer und iſt 1,5 cm dick. Die Nut am Umfang ſoll ziemlich tief ſein, um ein Abrutſchen der Lederſchnur zu verhindern. Das die mit einem kleinen, exzentriſch angebrachten Handgriff verſehene Triebſcheibe tragende Geſtell beſteht aus einem mit dem Grundbrett verſchraubten kräftigen Holzſtänder, der durch zwei aus ſtarkem Bandeiſen angefertigte Streben gehalten wird. Dreht man R, ſo beginnt der Anker mit großer Geſchwindigkeit zu rotieren. Dadurch entſtehen Wechſelſtröme in der Wicklung, die der Kollektor gleichrichtet, ſo daß an den Bürſtenklemmen Gleichſtrom abgenommen werden kann. Da es läſtig und manchmal auch ohne einen willigen Helfer unmöglich iſt, die Maſchine jedesmal in Betrieb zu ſetzen, wenn man Strom braucht,

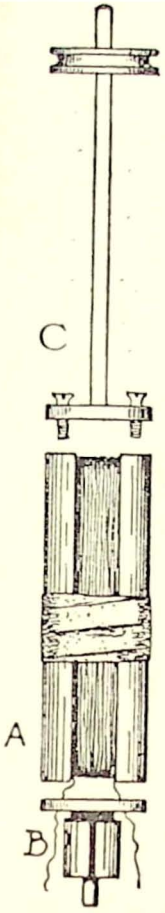


Abb. 140. Umschnürung des Ankers mit paraffiniertem Leinenband, Befestigung der Ankerachse mit Hilfe der Stirnscheiben, Verbindung der Wicklung mit dem Stromwender.

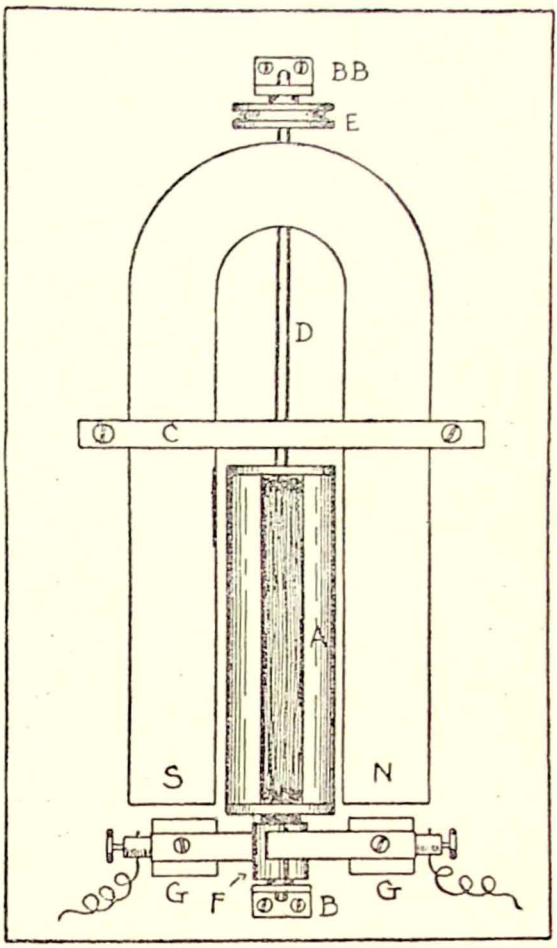


Abb. 141. Die Anordnung der einzelnen Teile auf dem Grundbrett.

tut man gut daran, den Strom in einer Akkumulatorenbatterie aufzuspeichern und ihn nach Bedarf daraus zu entnehmen.

Wenn wir gelegentlich mit Wechselstrom experimentieren wollen, können wir uns nach den vorstehenden Angaben auch

eine Wechſelſtrommaſchine bauen. Wir brauchen dazu nur den Kollektor durch zwei Schleifringe zu erſetzen, die man folgendermaßen herſtellt. Man nimmt einen kleinen, der Länge nach zur Aufnahme der Ankerwelle durchbohrten Buchsbaum- oder Ahornholzzylinder (2 cm lang, 2,6 cm Durchmeſſer), den man nach der auf S. 187 gegebenen Anleitung mit einer Kupferhülle verſieht. Die Schräubchen können fortbleiben, doch muß das Kupferrohr ganz ſtramm auf den Holzzylinder paſſen. Iſt der Schellack trocken, ſo ſägt man den ganzen Zylinder der Quere nach in zwei gleiche Teile. Dadurch erhält man zwei 1 cm breite Kupferringe mit Holzkern, die man nach Abb. 142 an Stelle des Kollektors auf das vordere Ende der Ankerwelle ſchiebt. In dieſer Abbildung ſind die beiden Schleifringe mit R und R_1 bezeichnet. H und H_1 ſind zwei Hartgummi- oder Fibreſcheiben von etwa 2 mm Dicke, die die Ringe gegeneinander und gegen die Stirnſcheibe iſolieren. U iſt die Meſſingunterlegſcheibe, die den erſten Schleifring vom Lager B trennt. Die beiden Bürſten F und F_1 werden ſo angeordnet, daß F auf R_1 und F_1 auf R ſchleift. Der Anfang der Ankerwicklung wird mit R_1, das Ende mit R verlötet. Um den Draht mit R verbinden zu können, muß man den Holzkern von R_1 vorſichtig durchbohren. Natürlich darf der Draht den Ring ſelbſt nicht berühren. Die den Bürſten in Abb. 142 gegebene Form braucht man nicht nachzuahmen. Sie iſt nur der Überſichtlichkeit halber gewählt worden. Die Bürſten werden am beſten ſo breit gemacht wie die Schleifringe.

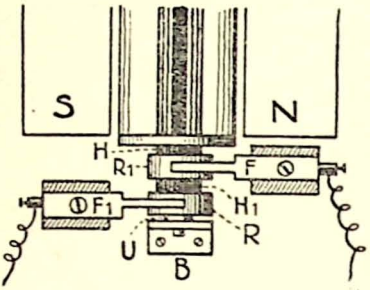


Abb. 142. Wie das vordere Ende des Ankers einzurichten iſt, wenn die in Abb. 128 gezeigte Maſchine Wechſelſtrom liefern ſoll.

3. Eine einfache Nebenſchlußdynamo.

Wie wir ſchon hörten, kann man auch Dynamomaſchinen mit Elektromagneten bauen. Solche Elektromagnetmaſchinen

ſind ſogar noch leiſtungsfähiger. Natürlich ſpeiſt man den Elektromagneten dann nicht von außen her durch eine beſondere Stromquelle. Das würde unpraktiſch und koſtſpielig ſein. Die Maſchine liefert ja ſelber Strom, ſie kann alſo auch ihren Elektromagneten ſelbſt erregen. Dazu iſt nichts weiter nötig, als daß man die Wicklung des Feldmagneten ſo mit den Bürſtenklemmen verbindet, daß ein Teil des im Anker erzeugten Stromes durch die Elektromagnetwicklung fließt. Abb. 143 zeigt eine ſolche Schaltung. Hier liegt die Elektromagnet-

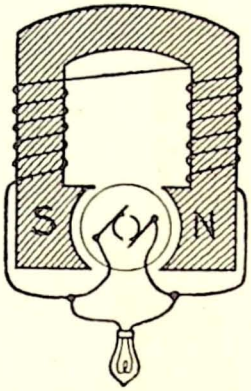


Abb. 143. Schema einer Dynamomaſchine mit Selbſterregung und Nebenſchlußwicklung (Nebenſchlußmaſchine).

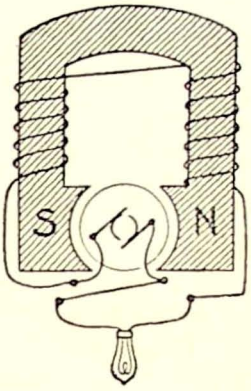


Abb. 144. Schema einer Dynamomaſchine mit Selbſterregung und Hauptſchlußwicklung (Hauptſtrommaſchine).

wicklung im Nebenſchluß zum Außenſtromkreis. Daher heißen ſolche Dynamos Nebenſchlußmaſchinen. Man kann die Geſchichte aber auch anders anfangen, beiſpielsweiſe ſo wie in Abb. 144. Bei dieſer Maſchine iſt die Elektromagnetwicklung ſo geſchaltet, daß Außenſtromkreis, Anker und Magnetwicklung in Serie oder Reihe, d. h. hintereinander, liegen. Der Feldmagnet wird alſo vom ganzen Ankerſtrom durchfloſſen. Man nennt ſolche Maſchinen daher Hauptſtrom- oder auch Reihenſchlußmaſchinen. Für uns iſt die Nebenſchlußſchaltung am vorteilhafteſten. Dieſe Schaltung wenden wir daher bei der nachfolgend beſchriebenen, in Abb. 145 wiedergegebenen Maſchine an.

Es handelt ſich dabei um eine Nebenſchlußmaſchine mit Hufeiſenelektromagnet (vom ſog. Ediſontyp), deren wichtigſte Einzelheiten in den Abb. 146 bis 156 geſondert gezeichnet ſind. Das Feldmagnetſyſtem wird nach Abb. 146 aus einer

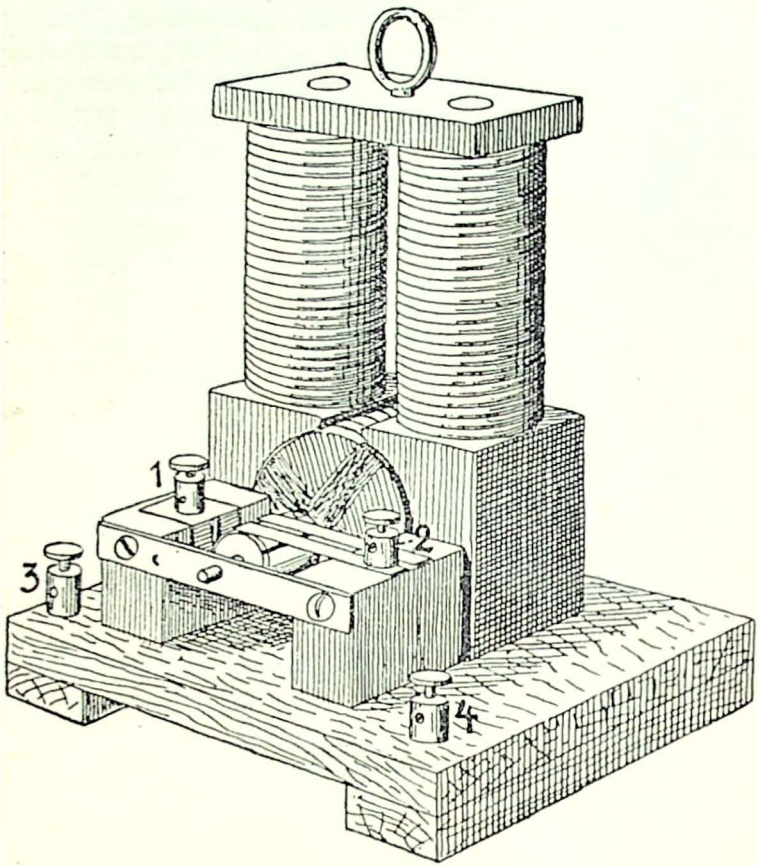


Abb. 145. Nebenſchlußdynamo mit hufeiſenförmigem Feldmagnet.

flachen Eiſenplatte A (dem Joch), zwei runden Eiſenbolzen B (den Kernen) und zwei einerſeits faſt halbkreisförmig ausgehöhlten Eiſenſtücken C (den Polſchuhen) zuſammengeſetzt. Für alle Teile wird gut ausgeglühtes Schmiedeeiſen verwendet.

Die Kerne ſind 2 cm dick und 10 cm lang. Sie erhalten an beiden Enden Gewinde, ſo daß ſie ſowohl mit dem Joch wie mit den Polſchuhen verſchraubt werden können.

Das Joch iſt 1,5 cm dick, 4 cm breit und 12 cm lang. Die beiden mit Innengewinden verſehenen, für die Kerne

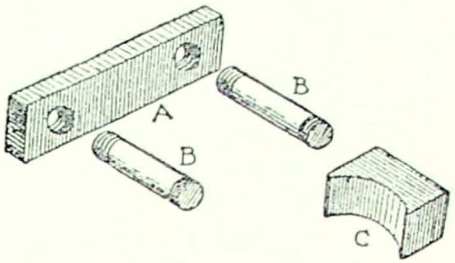


Abb. 146. A Magnetjoch, BB Magnetkerne, C einer der beiden Polſchuhe.

beſtimmten Bohrungen ſind 8 cm voneinander entfernt, von Mittelpunkt zu Mittelpunkt gemeſſen. Beide Mittelpunkte liegen auf einer Geraden, die das Joch der Länge nach halbiert.

Die 4 cm langen und breiten und 5,5 cm hohen Polſchuhe

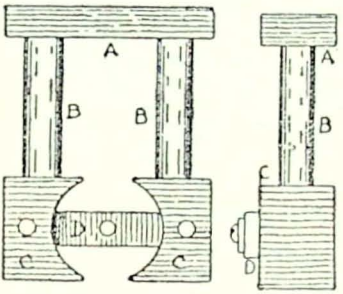


Abb. 147. Magnetſyſtem ohne vorderes Achslager von vorn und von der Seite geſehen.

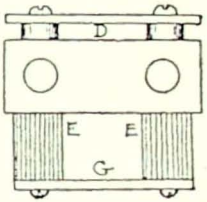


Abb. 148. Magnetſyſtem mit vorderem Achslager von oben geſehen.

werden nach Abb. 146 C auf den einander zugekehrten Seiten ſo ausgedreht, daß ſie den Anker faſt ganz umfaſſen. Außerdem erhalten ſie Bohrungen mit Innengewinde, ſo daß ſie auf die Kerne geſchraubt werden können.

Abb. 147 zeigt das fertige Magnetſyſtem von vorn und

von der Seite. Der an den Polſchuhen befeſtigte Querbügel D dient als Lager für die Ankerwelle. Er wird aus Meſſingblech von 2—3 mm Stärke hergeſtellt, iſt 1,5 cm breit und 12 cm lang. Auf die Befeſtigungsſchrauben werden Hartholzſcheiben von 1 cm Dicke und 2 cm Durchmeſſer geſchoben, ſo daß zwiſchen Bügel und Polſchuhen ein 1 cm breiter Zwiſchenraum verbleibt (vergl. Abb. 148). Das vordere Lager der Ankerwelle wird durch einen ähnlichen Meſſingbügel gebildet, den wir auf Abb. 148 bei G ſehen. Dieſer Bügel wird jedoch nicht an den Polſchuhen ſondern an den beiden Holzblöckchen E

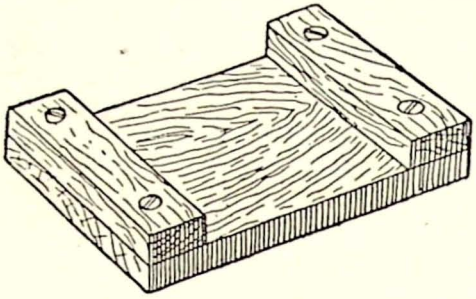


Abb. 149. Das Grundbrett, von unten geſehen.

(Größe 3,5×3,5×5 cm) befeſtigt, die zugleich als Bürſtenträger dienen (vergl. Abb. 145).

Zur Befeſtigung des Magnetſyſtems auf dem Grundbrett dienen ſtarke Schraubenbolzen, die man von unten her in die Polſchuhe einſchraubt. Das Grundbrett wird auf zwei ſtarke Leiſten geſetzt (vergl. Abb. 149), ſo daß die Bolzenköpfe nicht verſenkt zu werden brauchen.

Als Ankerachſe (Abb. 150) dient ein Stahlſtab von 13 cm Länge und 1,2 cm Durchmeſſer. Am linken Ende wird ein 1,2 cm langes Stück auf 6 mm Durchmeſſer abgedreht, desgleichen am rechten Ende ein Stück von 3,3 cm Länge. Dieſe Zapfen C und A müſſen den Bohrungen in den Bügeln D und G entſprechen.

Der Ankerkern (Abb. 151) wird diesmal aus einzelnen

Eiſenſcheiben angefertigt, um dem Auftreten von Wirbelſtrömen, die die Wirkſamkeit der Maſchine herabſetzen, vorzubeugen. Die Scheiben werden mit der Blechſchere aus weichem Eiſen-

Abb. 150. Die Ankerachſe.

blech von 0,5—1 mm Stärke geſchnitten. Beim Ausſchneiden erweiſt ſich die Verwendung einer nach Abb. 152 aus dünnem Meſſingblech hergeſtellten Schablone als zweckmäßig. Der Durch-

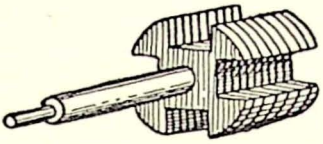


Abb. 151. Ankerachſe mit aufgeſchobenem Ankerkern.

Abb. 152. Eine der Eiſenſcheiben, aus denen der Ankerkern zuſammengeſetzt wird.

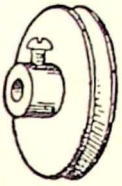


Abb. 153. Schnurtrieb.

meſſer der Ankerſcheiben beträgt 5 cm; die 4 Nuten*) ſind 1,5 cm breit und 1,4 cm tief. Die Bohrung für die Ankerachſe wird auf den Scheiben zunächſt nur durch ein kleines, mit einem

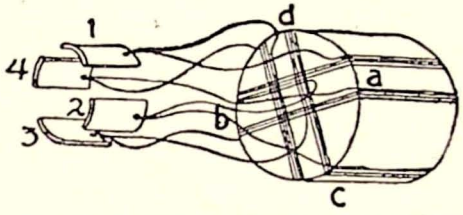


Abb. 154. Wie der Anker bewickelt und wie die Wicklung mit den Kollektorſegmenten verbunden wird.

Nagel geſchlagenes Loch angedeutet. Das Ausbohren nimmt man nachträglich vor, indem man alle Scheiben aufeinander-

*) Durch die Verwendung eines Ankers mit 4 Nuten und einer vierteiligen Wicklung werden die auf S. 184 erwähnten Stromſchwankungen ſtark vermindert. Je mehr Nuten man anbringt, deſto geringer werden die Schwankungen.

legt. Die einzelnen Scheiben ſind entweder durch einen doppelten Schellacküberzug oder durch gleichfalls nach der Schablone geſchnittene Paraffinpapierblättchen voneinander zu iſolieren. Der fertige Ankerkern (Abb. 151) ſoll 4 cm lang ſein. Danach iſt die Zahl der nötigen Scheiben unter Berückſichtigung der iſolierenden Zwiſchenſchichten zu berechnen. Um dem Kern die richtige Stellung auf der Achſe zu geben, ſetzt man die Achſe proviſoriſch in ihr Lager. Der Anker muß dann gerade den Raum zwiſchen den Polſchuhen ausfüllen. Selbſtverſtändlich darf er ſich ſpäter nicht mehr verſchieben. Nötigenfalls ſchraubt man vor und hinter ihm ſtarke Meſſingſcheiben auf.

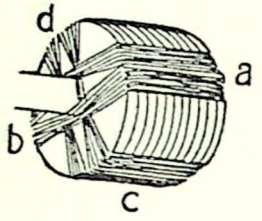


Abb. 155. So ſoll der bewickelte Anker ausſehen; man beachte, daß in jeder Nut zwei Spulen liegen.

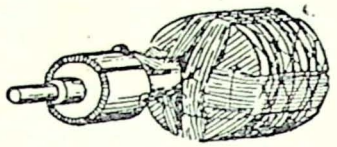


Abb. 156. Der umſchnürte Anker mit dem Kollektor fertig zur Montage.

Der Kollektor wird aus einem Buchsbaumholz-Zylinder von 3 cm Länge und 3 cm Durchmeſſer hergeſtellt. Die Innenbohrung iſt 1,2 cm weit. Zur Befeſtigung des auf den Zylinder geſchobenen Kupferrohrs dienen diesmal vier Meſſingſchräubchen, da der Mantel der Länge nach in vier gleichgroße Teile zerſägt werden ſoll. Wir erhalten dadurch einen vierteiligen Kollektor, der nach Abb. 156 vorn auf die Ankerwelle aufgekeilt wird.

Die Schnurſcheibe (Durchmeſſer 5 cm) ſoll die in Abb. 153 gezeichnete Form haben. Solche Schnurſcheiben kann man fertig kaufen (in Meſſing). Sie wird mit Hilfe der ſeitlichen Schraube auf die Welle aufgeklemmt.

Jetzt haben wir unſere Maſchine noch zu wickeln. Für den Feldmagneten verwenden wir Dynamodraht von 1—1,5 mm Stärke. Zwiſchen jede Drahtlage kommt ein Blatt Paraffin-

papier. Jeder Kern erhält 6—7 Lagen. Anfang und Ende der Wicklung werden an die beiden in Abb. 145 vorn auf dem Grundbrett ſichtbaren Klemmſchrauben 3 und 4 geführt.

Für den Anker benutzt man ſeidenumſponnenen Kupferdraht von 0,6—1 mm Stärke. Jede der vier Nuten ſoll zwei durch ein in Paraffin getauchtes Kartonblatt voneinander getrennte, aus mehreren Drahtlagen beſtehende Spulen*) erhalten. Am beſten legt man die beiden Spulen jeder Nut nebeneinander, wie es in den Abb. 154 und 155 angedeutet iſt. Dieſe Methode bietet den Vorteil, daß beide Spulen bei Drahtbrüchen, Kurzſchlüſſen uſw. ohne weiteres zugänglich ſind. Bei übereinander liegenden Spulen, die etwas bequemer zu wickeln ſind, muß man ſtets erſt die obere Spule entfernen, wenn man einen Fehler in der unteren beſeitigen will.

Beim Wickeln des Ankers geht man folgendermaßen vor: Man befeſtigt den blankgeſchabten, zu einer kleinen Öſe gebogenen Anfang des Drahtes an der in Abb. 154 mit 1 bezeichneten Kollektorlamelle, führt ihn dann von vorn nach hinten durch die Nut a, weiter auf der Rückfläche des Kerns nach unten zu Nut b, in dieſer nach vorn und auf der Stirnfläche wieder hoch zur Nut a. Auf dieſe Weiſe fährt man fort, bis beide Nuten halb gefüllt ſind. Dann führt man den Draht zum Kollektorſegment 2, ſchlingt ihn, nachdem er auf 1 cm Länge von der Iſolation befreit worden iſt, um das zugehörige Schräubchen, führt ihn weiter zur Nut c und wickelt dieſe und die gegenüberliegende Nut d halb voll. Iſt das geſchehen, ſo verbindet man den Draht mit dem Kollektorſegment 3 und führt ihn weiter zur Nut b, um dieſe und die Nut a nunmehr ganz aufzufüllen. Dann wird der Draht mit dem Kollektorſegment 4 verbunden, worauf man die Nuten c und d ebenfalls vollwickelt. Das Ende des Drahtes wird ſchließlich an das Segment 1 geführt, von dem wir ausgegangen ſind. Die Ankerwicklung beſteht alſo aus einem einzigen, in ſich geſchloſſenen Draht. Die Kollektorſegmente bilden Abzweigungen.

*) Als Spule bezeichnet man den eine bzw. eine halbe Nut füllenden Teil der Wicklung.

Die fertige Wicklung wird mit flüſſigem Paraffin getränkt. Außerdem erhält der Anker noch eine Querbandage aus paraffiniertem Leinenband oder Bindedraht, die ein Abſchleudern der Wicklung verhindert (vergl. Abb. 156). Damit iſt der Anker fertig. Man ſchiebt ihn von der Rückſeite her in das Polgehäuſe ein, bringt den Lagerbügel D an und keilt die Schnurſcheibe auf. Der Zwiſchenraum zwiſchen Anker und Polſchuhen ſoll etwa 2 mm nicht überſteigen. Bei der Drehung muß dieſer Zwiſchenraum überall gewahrt bleiben.

Die aus 1 cm breiten, federnden Kupferſtreifen beſtehenden Bürſten werden ſo auf den beiden Holzblöcken, die den Kollektor flankieren, befeſtigt, daß die eine Bürſte oben auf dem Kollektor ſchleift, während die andere, entſprechend zurechtgebogen, ſich von unten her dagegen preßt. Mit jeder Bürſte wird eine Klemmſchraube leitend verbunden.

Beim Zuſammenſchalten der Anker- und der Magnetwicklung nehmen wir Abb. 143, das Schema einer Nebenſchlußmaſchine, zu Hilfe. Die Abbildung ſagt uns, daß wir die Klemme 1 unſerer Maſchine mit der Klemme 3, und die Klemme 2 mit der Klemme 4 verbinden müſſen. (Drähte von 2 mm Stärke verwenden!) Legt man dann den Außenſtromkreis mit ſeinen Apparaten zwiſchen die Klemmen 1 und 2 oder auch zwiſchen 3 und 4, ſo geht ein Teil des Stromes durch die Feldmagnetwicklung, der größte Teil aber durch den Außenſtromkreis, deſſen Apparate dadurch in Betrieb geſetzt werden.

Die Feldmagnetwicklung muß immer gleich viel Strom erhalten und nicht einmal mehr, einmal weniger, wenn wenig oder viel Strom im Außenſtromkreis verbraucht wird. Man muß alſo die Stromzufuhr zur Magnetwicklung regulieren können. Dazu ſchaltet man einen Regulierwiderſtand (vergl. S. 107 ff.) zwiſchen die Klemmen 1 und 3. Dieſer Widerſtand geſtattet dann, das Verhältnis der zur Erregung des Feldmagneten verbrauchten und zur Leiſtung von Arbeit an den Außenſtromkreis abgegebenen Strommengen ſo zu regeln, daß es immer gleich bleibt.

Der Antrieb wird am beſten durch eine kleine, an die Waſſerleitung anzuſchließende Turbine beſorgt. Solche Waſſerturbinen ſind überall käuflich.

Dreizehntes Kapitel.

Elektromotoren.

1. Allgemeines.

Wenn wir eine Gleichſtrom-Dynamo nehmen und eine ſtarke Batterie mit den Anſchlußklemmen verbinden, an die wir ſonſt den äußeren Stromkreis legen, ſo ſehen wir, daß

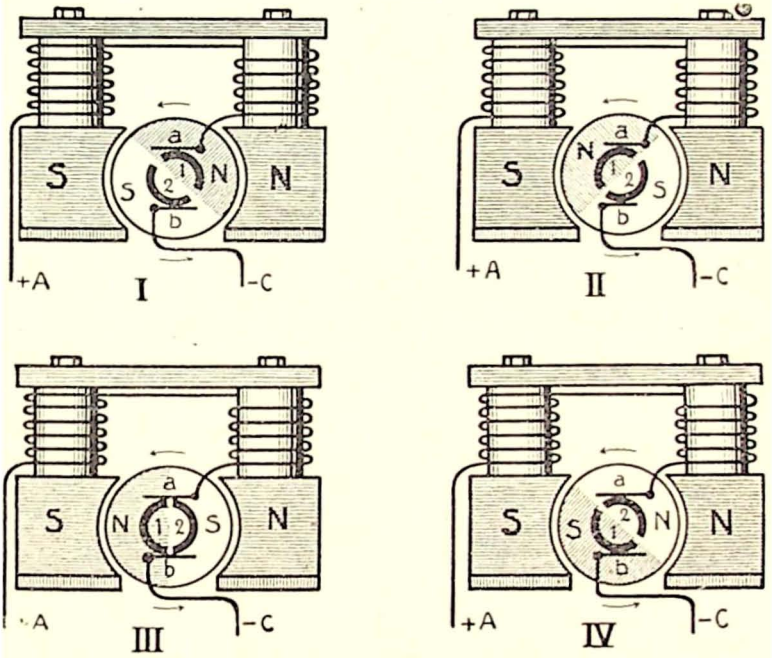


Abb. 157. Wie ein Elektromotor arbeitet.

der Anker der Maſchine ſich zu drehen beginnt. Die Dynamo bildet jetzt einen Elektromotor, bei dem ſich der in die Wicklung hineingeſchickte elektriſche Strom in mechaniſche Energie umſetzt, die wir an der Schnurſcheibe abnehmen und zum Antrieb anderer Maſchinen verwenden können. Elektromotoren ſind alſo nichts anderes als Dynamomaſchinen, die durch einen von außen kommenden Strom geſpeiſt werden. In allen Einzelheiten ſind ſie genau ſo gebaut, wie die ſtromerzeugenden Dynamos, die wir bereits kennen.

Wie es kommt, daß ein in eine Dynamomaſchine hineingeſchickter Strom den Anker in Drehung verſetzt, macht uns Abb. 157, das Schema eines Hauptſchluß-Elektromotors, klar. Der Strom tritt an der mit + A bezeichneten Klemme in die Feldmagnetwicklung ein, durchfließt ſie, geht weiter zur Ankerbürſte a, tritt über das von ihr berührte Kollektorſegment 1 in die Ankerwicklung ein, durchfließt ſie, tritt über das Kollektorſegment 2 aus und fließt über die Ankerbürſte b und die Klemme — C zur Stromquelle zurück. Dabei ruft er die in Skizze I gezeichnete Polverteilung hervor, macht alſo den linken Polſchuh des Feldmagneten ſüd-, den rechten nordmagnetiſch und teilt auch den Anker in eine nord- und eine ſüdmagnetiſche Hälfte, wie es durch die Buchſtaben N und S angedeutet iſt. Da ſich gleichnamige Magnetpole abſtoßen, ungleichnamige aber anziehen, zieht der Nordpol des Feldmagneten die nicht ſchraffierte ſüdmagnetiſche Ankerhälfte an und ſtößt die ſchraffierte nordmagnetiſche ab. Dabei wird er von dem Südpol des Feldmagneten unterſtützt, der den Anker-Nordpol anzieht, den Anker-Südpol dagegen abſtößt. Das Ergebnis iſt alſo eine Ankerdrehung im Sinne der eingezeichneten Pfeile, die den Anker über die Stellung II in die Stellung III bringt, in der die ungleichnamigen Pole einander gegenüberſtehen. Die Ankerdrehung ſetzt ſich aber durch das dem Anker innewohnende Beharrungsvermögen noch über dieſe Stellung hinaus fort. Das iſt durch die Skizze IV angedeutet. Dabei tritt die Bürſte a vom Kollektorſegment 1 auf das Segment 2 über, während die Bürſte b auf das Segment 1 zu liegen kommt.

Der Strom fließt alſo jetzt in umgekehrter Richtung durch die Ankerwicklung wie vorher, d. h. der Anker wird umgekehrt magnetiſiert. Die ſchraffierte Hälfte iſt jetzt zum Südpol geworden, die unſchraffierte iſt nordmagnetiſch. Die Feldmagnetpole haben alſo wieder gleichnamige Ankerpole vor ſich, die ſie abſtoßen. Infolgedeſſen dreht der Anker ſich weiter, bis abermals ungleichnamige Pole einander gegenüberſtehen. Der ſofort

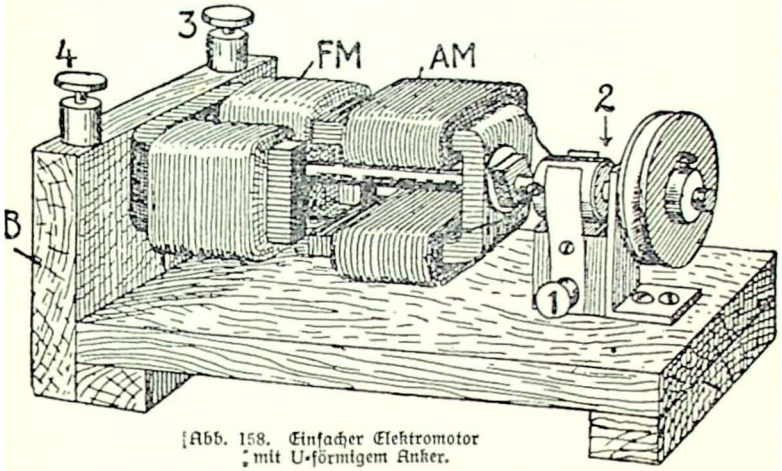


Abb. 158. Einfacher Elektromotor mit U-förmigem Anker.

eintretende Wechſel der Stromrichtung kehrt auch diesmal die Pole um, und das Haſche-Spiel beginnt von neuem. Der Anker bleibt alſo dauernd in Drehung, ſolange Strom durch die Wicklung fließt.

Genau wie bei den Dynamos unterſcheidet man auch bei den Elektromotoren Haupt- und Nebenſchluß-Maſchinen. Für unſere Zwecke eignet ſich die in Abb. 157 ſkizzierte Hauptſchlußſchaltung am beſten. Dieſe Schaltung wenden wir daher bei der nachſtehend beſchriebenen Maſchine an.

2. Ein einfacher Hauptſchlußmotor.

Der in Abb. 158 dargeſtellte Elektromotor, deſſen Bau auch einem Anfänger keine Schwierigkeiten bereiten wird, be-

ſteht der Hauptſache nach aus einem U-förmigen Anker, der ſich vor den Polen eines gleichfalls U-förmigen Feldmagneten dreht.

Das aus gutem aſtfreiem Hartholz angefertigte Grundbrett wird auf zwei ſtarken Querleiſten befeſtigt. Das ſenkrecht zum Grundbrett ſtehende Seitenbrett B iſt 7,5 cm hoch und 1,5 cm dick. Auf ſeiner oberen Kante bringt man zwei Klemmſchrauben an, die hernach mit der Feldmagnetwicklung verbunden werden.

Anker- und Feldmagnetkern erhalten die ſich aus Abb. 159 ergebende Form. Sie werden aus weichem Bandeiſen von 7 mm Dicke und 2,5 cm Breite angefertigt. Jeder Kern iſt 4,5 cm lang. Die Entfernung der beiden Schenkel voneinander beträgt ebenſoviel (innen gemeſſen). Beide Kerne erhalten in der Mitte des Joches eine Bohrung, die beim Feldmagnetkern (FM) einen Durchmeſſer von 1,5 cm, beim Ankerkern von 1 cm beſitzt. Außerdem wird der Feldmagnetkern noch mit Löchern für zwei Befeſtigungsſchrauben verſehen.

Sodann werden die Schenkel beider Kerne mit je 6 Lagen Dynamodraht von 1 mm Stärke bewickelt. Der Draht ſoll das Eiſen nicht berühren. Man gibt den Schenkeln alſo zunächſt eine Schutzhülle aus Paraffinpapier. Der Ankerdraht wird beim Wickeln dick mit Schellack beſtrichen. Dadurch wird ein Abſchleudern der Wicklung erſchwert.

Der fertige Feldmagnet wird mit ſtarken Meſſingſchrauben ſo an das Seitenbrett B geſchraubt, daß die Kante des Magnetjochs mit der Oberkante von B abſchneidet und der Magnet genau in der Mitte des Brettes ſitzt. Sodann bohrt man im Mittelpunkt der großen Bohrung des Feldmagneten ein Loch von 6 mm Durchmeſſer in das Brett. Dieſes Loch nimmt hernach den einen Zapfen der Ankerwelle auf. Das andere Ende der Welle wird in einem L-förmigen Meſſingwinkel gelagert, den man nach Abb. 160 aus einem 2 cm breiten und 6,5 cm langen Meſſingſtreifen von 2 mm Dicke biegt. Der ſenkrechte Schenkel iſt etwa 5 cm lang.

Die ſtählerne Ankerwelle iſt 9 mm dick und 17 cm lang.

Beide Enden werden auf 6 mm Dicke abgedreht, und zwar das linke Ende auf 2,5, das rechte auf 4 cm Länge. Sodann wird ein 9 mm weites, 2,5 cm langes Stück Meſſingrohr von 0,5 mm Wandſtärke auf die Achſe geſchoben und mit zwei

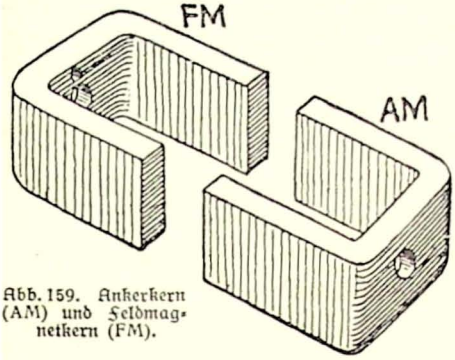


Abb. 159. Ankerkern (AM) und Feldmagnetkern (FM).

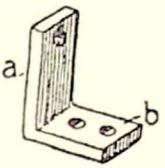


Abb. 160. Der als Achslager dienende Meſſingwinkel.

verſenkten Schräubchen befeſtigt. Beide Enden des Rohrſtücks ſind mit Außengewinden zu verſehen, ſo daß jederſeits eine Meſſingmutter aufgeſchraubt werden kann. Dieſe Muttern preſſen zwei große Unterlegſcheiben gegen den Anker und halten ihn dadurch auf der Achſe feſt (vergl. Abb. 161). Die

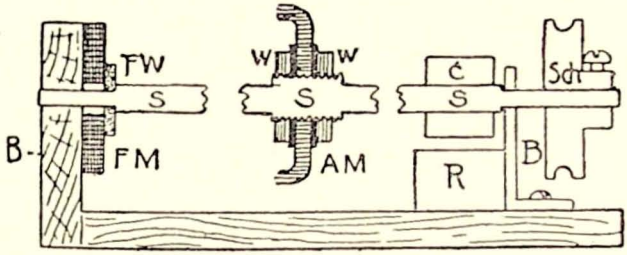


Abb. 161. Die Lagerung der Ankerachſe und die Befeſtigung des Ankers.

Ankerpole ſollen etwa 3 mm von den Polen des Feldmagneten entfernt ſein. Danach iſt die Stellung des Rohrſtücks auf der Achſe zu berechnen.

Der Kollektor iſt zweiteilig. Er wird nach den auf S. 187 gemachten Angaben angefertigt. Anfang und Ende der Anker-

wicklung werden in der üblichen Weiſe mit den Kollektorſegmenten verbunden.

Die Ankerbürſten (federnde Kupferſtreifen von 1,5 cm Breite) ſitzen an einem Hartholzwürfel von 2 cm Kantenlänge, der nach Abb. 158 dicht neben dem Lagerwinkel ſenkrecht unter dem Kollektor auf dem Grundbrett befeſtigt wird.

Beim Zuſammenſetzen der einzelnen Teile iſt Abb. 161 zu Hilfe zu nehmen. S iſt die Ankerachſe, deren linker Zapfen in der Bohrung des Seitenbretts ruht. Da ſich ein Holzlager ſchnell ausläuft, empfiehlt es ſich, außen an dieſem Brett ein etwa 1 mm dickes Meſſingblättchen mit einer entſprechenden Bohrung als Lagerſchutz anzubringen. FM iſt der Feldmagnet, deſſen große Bohrung von der Achſe frei durchſetzt wird. FW iſt eine Fibre-Unterlegſcheibe, die eine zu ſtarke Verſchiebung der Achſe in der Längsrichtung hindern und außerdem das bei der Ankerdrehung entſtehende ſummende Geräuſch dämpfen ſoll. AM iſt der Anker auf ſeinem die Achſe S eng umſchließenden Meſſingrohr. WW ſind die Schraubenmuttern, die den Anker mit Hilfe der ſchwarz gezeichneten Unterlegſcheiben auf der Achſe feſthalten. Rechts ſehen wir den Kollektor C, darunter den die Bürſten tragenden Holzblock R, weiter den Meſſingwinkel B, in dem der rechte Ankerzapfen gelagert iſt, und ſchließlich die auf das freie Ende der Achſe gekeilte Schnurſcheibe Sch, von der die durch die Ankerdrehung erzeugte mechaniſche Energie abgenommen wird.

Da der Motor als Hauptſchlußmaſchine laufen ſoll, ſind Anker- und Feldmagnetwicklung nach Abb. 162 zuſammenzuſchalten. Die Klemme 4 iſt alſo mit der Klemme 1 durch einen ſtarken Kupferdraht zu verbinden. An die freibleibenden Klemmen 3 und 2 (Klemme 2 iſt auf Abb. 158 nicht ſichtbar) wird die den Antriebsſtrom liefernde Stromquelle gelegt.

Zu beachten iſt, daß der Motor nicht von ſelbſt anläuft. Der Anker iſt alſo leicht anzuſtoßen, nachdem der Strom eingeſchaltet worden iſt. Seine volle Stärke darf der Antriebsſtrom erſt erlangen, wenn der Motor mit voller Geſchwindigkeit läuft. Man muß alſo einen Regulierwiderſtand

zwiſchen Motor und Stromquelle einſchalten, ſo daß man anfänglich einen ſchwachen Strom in die Wicklung ſenden kann, den man ganz allmählich auf die volle Stärke bringt. Tut man das nicht, ſo kann der Strom unter Umſtänden die Ankerwicklung ſo ſtark erhitzen, daß die Iſolation verbrennt. Später iſt das nicht mehr möglich, da in der Ankerwicklung genau wie bei einer Dynamomaſchine ein mit wachſender Drehgeſchwindigkeit zunehmender Induktionsſtrom entſteht, der dem Antriebsſtrom entgegenwirkt.

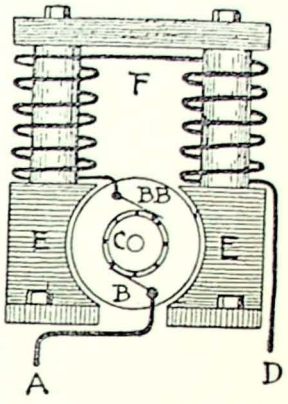


Abb. 152. Schaltſchema für einen Hauptſchluß-Elektromotor.

Zum Antrieb eines Elektromotors benutzt man am beſten Maſchinenſtrom oder eine aus 2—3 Zellen beſtehende Sammlerbatterie, doch kann man auch Bunſen- oder Chromſäureelemente verwenden. Salmiakelemente uſw. erſchöpfen ſich bei länger dauerndem Betrieb ſehr ſchnell, ſind alſo ungeeignet.

Vierzehntes Kapitel.

Induktionsapparate.

1. Allgemeines.

Die Induktionsapparate dienen zur Umwandlung normaler, von Elementen gelieferter Gleichſtröme in ſehr hochgeſpannte Wechſelſtröme. Die phyſikaliſche Grundlage dieſer Apparate bildet die Tatſache, daß jeder in einem Leiter fließende Strom in allen benachbarten Leitern ſog. Induktionsſtröme hervorruft, wenn er entſteht oder verſchwindet, ſtärker oder ſchwächer wird, oder ſeine Richtung wechſelt. Die zur Nutzbarmachung dieſer Erſcheinung gebauten Induktionsapparate beſtehen aus einem

Eiſenkern, der zwei Wicklungen trägt. Die untere, ſogen. primäre (= erſte oder urſprüngliche [induzierende]) Wicklung beſteht aus dickem Kupferdraht, der den Kern in ein bis zwei Lagen, alſo wenigen Windungen umgibt. Über der Primärſpule liegt die aus vielen hundert Wicklungen ſehr dünnen Drahtes beſtehende ſekundäre (= zweite [induzierte]) Wicklung. Die Primärwicklung wird an eine Batterie angeſchloſſen. In den ſo gebildeten Stromkreis wird ein ſelbſttätig arbeitender Unterbrecher eingeſchaltet, der den die Primärwicklung durchfließenden Batterieſtrom in lauter einzelne Stromſtöße zerhackt und damit die Vorbedingung zur Entſtehung der Induktionsſtröme in der Sekundärwicklung ſchafft (ſ. oben). Die Spannung dieſer Induktionsſtröme iſt um ſo höher, je dünneren Draht und je mehr Windungen die Sekundärwicklung aufweiſt. Mit ſolchen Hochſpannungsſtrömen laſſen ſich zahlreiche intereſſante Verſuche anſtellen. Man kann Glasplatten durchbohren, Verſuche mit Flammen machen, Ozon erzeugen, Zündverſuche machen, ſich ſelbſt oder andere Leute elektriſieren, elektriſche Funken hervorrufen und in Glasröhren eingeſchloſſene verdünnte Gaſe zum Leuchten bringen, um nur einige einfachere Experimente zu nennen. Außerdem ermöglichen uns die Induktionsapparate die Erzeugung von Röntgenſtrahlen und von elektriſchen Wellen, die in der drahtloſen Telegraphie Verwendung finden.

Die Hochſpannungsſtröme bilden alſo ein ſehr lehrreiches Arbeitsfeld für den jungen Elektrotechniker, und ein Induktionsapparat darf unter keinen Umſtänden in unſerer Apparatſammlung fehlen. Es empfiehlt ſich ſogar, mehrere ſolcher Apparate zu bauen, zum mindeſten einen größeren und einen kleineren, da nur die größeren Apparate ſo ſtarke Ströme liefern, wie ſie für Röntgenſtrahlenverſuche und zur Wellentelegraphie nötig ſind.

Der Bau von Induktionsapparaten iſt allerdings trotz der Einfachheit des Prinzips nicht ganz leicht, da insbeſondere größere Apparate ſehr hohe Anſprüche in bezug auf Iſolation, ſaubere Wicklung uſw. ſtellen. Wir fangen daher am beſten

mit der Anfertigung eines kleineren Apparats an, wie er ſich zu Elektriſierungsverſuchen eignet. Die dabei gewonnenen Erfahrungen werden uns das Wickeln größerer Spulen, die gar nicht ſorgfältig genug gearbeitet werden können, ſehr erleichtern.

2. Kleine Induktionsapparate.

Der Hauptſache nach beſteht jeder Induktionsapparat aus vier Teilen: dem Eiſenkern, der Primärwicklung, der Sekundärwicklung und dem Unterbrecher. Die primäre Wicklung kann direkt auf den Eiſenkern aufgebracht werden. Bei größeren Induktionsapparaten empfiehlt dieſe Wicklungsweiſe ſich aber nicht, da ſie die Arbeit erſchwert. Man bringt die Wicklung beſſer auf eine Holzſpule, in deren Höhlung der Eiſenkern untergebracht wird. Bei dem Apparat, den wir jetzt bauen wollen, gelten für dieſe Spule folgende Maße: ganze Länge 76 mm; Durchmeſſer der Flanſchen 38 mm; Dicke der Flanſchen 5 mm; Durchmeſſer der Kernbohrung 10 mm; Dicke des Mantels etwa 1 mm. Am einfachſten ſtellt man die Spule aus zwei Holzflanſchen und einem über einem Glasrohr oder einem andern runden Kern aufgerollten und gut verleimten Streifen Pergamentpapier her. Das Papierrohr wird mit flüſſigem Paraffin getränkt. Die Flanſchen ſind gut zu befeſtigen.

Die Spule wird zunächſt mit drei Lagen Kupferdraht von 6 mm Stärke bewickelt, die die Primärwicklung bilden. Wichtig iſt, daß gut iſolierter Draht verwendet wird. Doppelte Umſpinnung mit Seide iſt am beſten, doch kann man auch baumwollumſponnenen Draht verwenden, wenn man jede Lage gut mit flüſſigem Paraffin (mit dem Pinſel aufſtreichen) tränkt. Anfang und Ende des Drahtes werden durch die durchbohrten Flanſchen geführt. Die frei vorſtehenden Drahtſtücke ſollen 15—20 cm lang ſein, damit ſie hernach bequem mit den Anſchlußklemmen verbunden werden können.

Die Primärwicklung iſt durch eine aus 4—5 Lagen Paraffinpapier beſtehende Trennſchicht gegen die Sekundärſpule zu iſolieren. Bei der Herſtellung von Paraffinpapier für Induk-

tionsapparate muß man beſonders ſorgfältig verfahren. Vor allem hat man darauf zu achten, daß das verwendete Papier keine Löcher und keine dünnen Stellen aufweiſt. Man prüft das, indem man die einzelnen Blätter gegen das Licht hält. Empfehlenswert iſt dünnes Pauspapier, auch nicht zu ſtarkes Schreibpapier läßt ſich verwenden. Man ſchneidet das Papier in paſſende Streifen, ſchichtet dieſe ſorgfältig aufeinander, bringt ſie zuſammen in eine Porzellanſchale, wie man ſie zum Entwickeln photographiſcher Aufnahmen braucht, legt einige Stücke Paraffin auf das oberſte Blatt und ſchiebt dann die Schale in einen mäßig warmen Backofen, in dem man ſie ſich ſelbſt überläßt. Nach einigen Stunden wird nachgeſehen, ob alle Blätter vollſtändig mit Paraffin durchtränkt ſind. Iſt das nicht der Fall, ſo gibt man noch etwas Paraffin hinzu und läßt die Wärme noch einige Zeit einwirken. Das Papier ſoll möglichſt direkt aus dem Ofen heraus verwendet werden. Iſt das nicht möglich, ſo muß man die Blätter einzeln erkalten laſſen.

Auf die Umhüllung der Primärſpule wird die aus 0,1 mm ſtarkem, doppelt mit Seide umſponnenem Kupferdraht beſtehende Sekundärwicklung aufgebracht. Die Wicklung ſoll jederſeits 1 cm von den Innenflächen der Flanſchen entfernt bleiben. Die einzelnen Windungen müſſen ganz glatt nebeneinander liegen. Jede der unteren Lagen wird von der nächſten durch 1 Blatt Paraffinpapier getrennt. Bei den 4 oder 5 oberſten Lagen nimmt man je 2 Blatt Paraffinpapier als Zwiſchenſchicht. Beim Wickeln muß man ſehr behutſam verfahren, damit der dünne Draht nicht reißt. Geſchieht das doch, ſo iſt die Lötſtelle durch Umwickeln mit paraffiniertem Seidenband ſorgfältig zu iſolieren. Gut iſt es, derartige Lötſtellen ſtets an den Rand der betreffenden Lage zu verlegen. Dazu wird es allerdings meiſtens nötig ſein, den Draht wieder abzuwickeln und ihn da abzuſchneiden, wo eine Lage beendet iſt. Wenn uns aber daran liegt, einen dauernd betriebsfähigen Apparat zu erhalten, dürfen wir dieſe Arbeit und den damit verbundenen Drahtverluſt nicht ſcheuen. Beim Wickeln muß man von Zeit zu

Zeit, am beſten nach Fertigſtellung jeder Lage, prüfen, ob der bereits aufgewickelte Draht nicht gebrochen iſt. Dazu verbindet man den +-Pol einer kleinen Batterie über ein Galvanoſkop mit dem Anfang der Wicklung und legt an den —-Pol einen Kupferdraht, an deſſen Ende man eine feine Nähnadel gelötet hat. Dieſe Nadel ſticht man an der zu prüfenden Stelle vorſichtig ſo durch die Iſolierhülle, daß die Spitze den Draht berührt. Zeigt das Galvanoſkop Strom an, ſo iſt alles in Ordnung. Im andern Falle iſt die betreffende Drahtlage wieder abzuwickeln und Windung für Windung mit der Nadel abzutaſten, bis man die Bruchſtelle findet. Die Stichſtellen in der Iſolierung werden durch Betupfen mit flüſſigem Paraffin geſchloſſen.

Anfang und Ende der Sekundärwicklung werden ebenfalls durch die Flanſchen nach außen geführt, um mit Klemmſchrauben verbunden zu werden. Des weiteren wird die fertige Spule mit 4—5 Lagen Paraffinpapier bewickelt, über die noch eine Hülle aus weichem Leder oder Wachstuch kommt. Sehr hübſch ſieht auch eine Hülle aus ſchwarzem Zelluloid aus, das man für ſolche Zwecke in 0,15 mm ſtarken, einſeitig polierten Tafeln in den Handel bringt. Um die Ränder einer Zelluloidhülle zu verbinden, beſtreicht man ſie mit Eiseſſig oder Azeton-Methylalkohol (aus der Apotheke zu beziehen) und drückt ſie kurze Zeit feſt zuſammen.

Nun haben wir noch für den Eiſenkern zu ſorgen, der etwas länger als die Spule ſein ſoll. Am einfachſten iſt es, einen an beiden Enden mit Gewinden verſehenen Eiſenbolzen (weiches Eiſen!) von 9—10 mm Durchmeſſer in die Spule zu ſtecken und eiſerne Muttern auf die vorſtehenden Enden zu ſchrauben. Beſſer iſt aber ein Kern aus weichen, gut ausgeglühten Eiſendrähten von 0,5—1 mm Stärke, die einzeln lackiert und dann zu einem runden Bündel von 1 cm Durchmeſſer zuſammengelegt werden. Die einzelnen Drähte ſind vor der Lackierung ſchön gerade zu klopfen. Im andern Fall entſtehen Lücken im Kern, die die Leiſtungsfähigkeit des Apparats ungünſtig beeinfluſſen. Die Länge der einzelnen Drähte mag 85 mm betragen.

Die fertige Spule wird durch zwei dünne, bügelartig über die Hülle gelegte Meſſingbänder (vergl. Abb. 165) oder auf irgendeine andere Weiſe auf einem Grundbrett befeſtigt, in deſſen vier Ecken 4 Klemmſchrauben ſitzen. Mit den Klemmen A und B wird die ſekundäre Wicklung verbunden. Die Klemmen D und E nehmen die Zuführungsdrähte zur primären Wicklung auf.

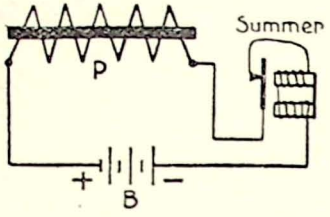


Abb. 163. Wie ein als Unterbrecher dienender Summer mit dem Induktor und der Stromquelle zu verbinden iſt.

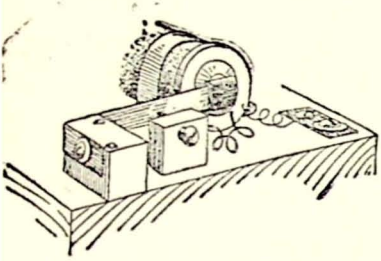


Abb. 164. Hammer-Unterbrecher.

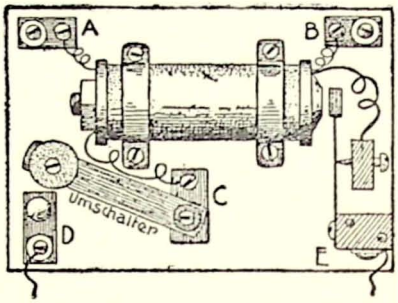


Abb. 165. Wie die einzelnen Teile des Hammerunterbrechers mit der Primärwicklung und den Klemmen zu verbinden ſind.

Damit iſt die Induktionsſpule fertig. Nun fehlt noch der Unterbrecher, der den Primärſtrom in einzelne Stromſtöße zerlegt. Am bequemſten und am ſparſamſten im Betrieb ſind die elektromagnetiſchen Hammerunterbrecher, die wir ſchon von den elektriſchen Läutewerken her kennen. Wir können ein ſolches Läutewerk, etwa den auf S. 153 beſchriebenen Summer, ſogar ohne weiteres als Unterbrecher verwenden, wenn wir es nach Abb. 163 in den Primärſtromkreis ſchalten. Der Strom hat dann allerdings außer dem Widerſtand der Primärwicklung noch den der Summerwicklung zu überwinden, was ihn natürlich ſchwächt. Man tut daher beſſer daran, am Induktor ſelbſt einen Hammerunterbrecher anzubringen. Abb. 164 zeigt, wie

der Unterbrecher am zweckmäßigſten anzuordnen iſt. Abb. 165 veranſchaulicht die Verbindung der einzelnen Teile mit der Primärwicklung, Abb. 166 den Stromverlauf.

In Abb. 165 ſind die Enden der Sekundärwicklung zu den Klemmſchrauben A und B geführt. In den von der Klemme D zur Primärwicklung führenden Draht iſt ein kleiner Umſchalter eingeſchaltet, deſſen Kurbel auf D ſchleift. Dieſe Einrichtung dient dazu, die Batterie nötigenfalls ſchnell abzuſchalten, was häufig ſehr erwünſcht iſt. Das andere Ende der Primärwicklung wird an eine in einem Holzklötzchen ſitzende Meſſingſchraube geführt. Die Spitze dieſer Schraube berührt einen federnden Stahlſtreifen, deſſen freies Ende dem Induktorkern gegenüber ein Eiſenplättchen, den Anker, trägt. Mit dem andern Ende iſt die Ankerfeder an dem Hartholzklötzchen E befeſtigt. Durch eine Klemmſchraube wird die Feder mit dem andern Batteriepol verbunden. Wird dann die Batterie zwiſchen die beiden Primärklemmen geſchaltet, ſo zieht der Kern den Anker an. Dadurch wird der Stromkreis ſofort unterbrochen. Der Kern wird alſo unmagnetiſch, und der Anker ſchnellt zurück. Infolgedeſſen ſchließt ſich der Stromkreis wieder, und das Spiel beginnt von neuem (vergl. Abb. 166). Die Kontaktſchraube iſt ſo einzuſtellen, daß die Unterbrechungen möglichſt ſchnell aufeinander folgen. Der Anker darf nur ganz geringen Abſtand vom Kern haben. Um ein Kleben des Ankers, wie es bei nicht gut ausgeglühten Kernen manchmal eintritt, zu vermeiden, klebt man ein Blättchen Papier auf den Kern. Gut iſt es, der Kontaktſchraube eine Spitze aus Platin- oder Wolframdraht zu geben und auf die von der Spitze berührte Stelle der Ankerfeder ein Platin- oder Wolframplättchen zu löten. Im andern Fall rufen die zwiſchen Feder und Schraube auftretenden kleinen Funken bald eine Oxydation des Metalls hervor. Das führt zu ſchlechten Kontakten.

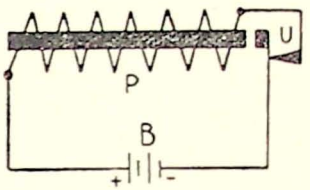


Abb. 166. Stromlaufſchema für einen Induktor mit Hammer-Unterbrecher.

3. Funkeninduktoren.

Wenn man die Sekundärklemmen des beſchriebenen Induktors mit zwei Drähten verbindet und deren Enden bis auf ganz geringe Entfernung nähert, wird man ſehen, daß zwiſchen den Drahtſpitzen fortwährend kleine Funken überſpringen. In dieſen Fünkchen gleichen ſich die Induktionsſtröme aus. Bei größeren Induktionsapparaten zeigt ſich dieſe Erſcheinung in verſtärktem Maße. Dieſe Apparate werden daher direkt als „Funkeninduktoren" bezeichnet. Die Schlagweite eines Induktors, d. h. die Entfernung, auf die die Enden der mit der Sekundärwicklung verbundenen Drähte einander genähert werden müſſen, damit die Funkenentladung erfolgt, hängt von der Spannung der Induktionsſtröme ab. Die Spannung wächſt mit der Zahl der die Sekundärwicklung bildenden Windungen, alſo mit der Drahtlänge der Sekundärſpule, ſowie mit der Primärſtromſtärke und der Schnelligkeit der Unterbrechungen. Außerdem kommen noch einige andere Punkte in Betracht, auf die wir hier nicht näher einzugehen brauchen. Man hat bereits Induktoren mit mehr als 1 m Schlagweite konſtruiert, deren Sekundärſpule über 100000 m Draht enthält. So große Induktoren ſind jedoch infolge der großen Drahtmengen ſehr koſtſpielig und auch ſehr ſchwierig zu bauen. Für uns ſtellen Apparate von etwa 5 cm Schlagweite die obere Grenze des mit einfachen Hilfsmitteln im allgemeinen noch Erreichbaren dar. Es ſei aber nicht verſchwiegen, daß ſelbſt der Bau eines 5-cm-Funkeninduktors nicht nur ziemliche Geſchicklichkeit, Ausdauer und Beharrlichkeit, ſondern auch einige Geldmittel vorausſetzt, die für die Kaſſenverhältniſſe eines Jungen ſchon ziemlich beträchtlich ſind. Der für die Sekundärwicklung erforderliche Draht koſtet allein etwa 20 Mk. (Friedenspreis!), während man für den Primärdraht, den Eiſenkern, den Unterbrecher, für Paraffin uſw. mindeſtens den gleichen Betrag rechnen muß. Wer alſo nicht beſonders reich mit Taſchengeld geſegnet iſt, und wer auch keine gütige Fee in Geſtalt des Herrn Papas oder eines Onkels kennt, die ihm gelegentlich

einige blaue Lappen auf den Arbeitstiſch legt, wird zunächſt tüchtig ſparen müſſen, bevor er ſich das nötige Material verſchaffen kann. Das zu erſtrebende Ziel lohnt aber ſelbſt den Verzicht auf einige andere Genüſſe, denn mit einem 5-cm-Induktor können wir die wunderbaren Eigenſchaften der hochgeſpannten Elektrizität faſt ſämtlich ſtudieren. Insbeſondere ermöglicht uns ein ſolcher Induktor, drahtlos zu telegraphieren. Röntgenphotographien herzuſtellen, Teslaſtröme zu erzeugen u. dgl. mehr.

Zur Anfertigung eines 5-cm-Funkeninduktors brauchen wir in erſter Linie eine große Spule, die wir aus zwei vier-

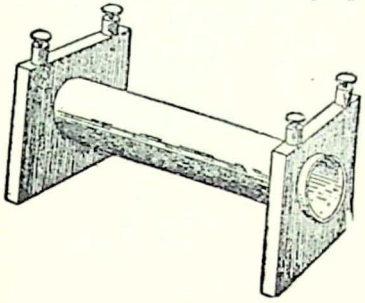


Abb. 167. Spule für einen 5-cm-Funkeninduktor, hergeſtellt aus einem Papprohr und zwei viereckigen Holzflanſchen.

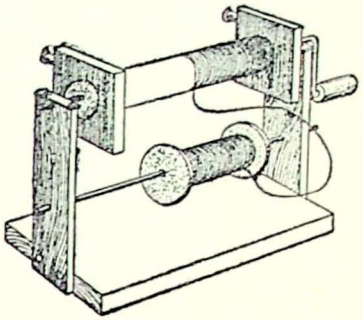


Abb. 168. Einfache Wickelvorrichtung für Funkeninduktoren.

eckigen Holzflanſchen und einem 25 cm langen, 3 cm weiten Papprohr ſelbſt zuſammenſetzen. Das Papprohr wird innen und außen mehrmals mit Schellack oder flüſſigem Paraffin beſtrichen. Die 10 cm langen und breiten Flanſchen ſollen 1,5 cm dick ſein. Sie werden aus trockenem, aſtfreiem Hartholz hergeſtellt, in der Mitte mit einem kreisrunden Ausſchnitt für das Rohr verſehen und gleichfalls ſchellackiert oder paraffiniert. Abb. 167 zeigt uns die fertige Spule. Die auf den Flanſchen angebrachten Klemmſchrauben nehmen hernach die Enden der beiden Wicklungen auf.

Die Primärwicklung beſteht aus drei Lagen Dynamodraht von 2 mm Stärke, der in dicht nebeneinanderliegenden Windungen aufgebracht wird. Zwiſchen die einzelnen Drahtlagen kommt Paraffinpapier. Das Wickelgeſchäft wird weſentlich

erleichtert, wenn man ſich der in Abb. 168 ſkizzierten Wickelvorrichtung bedient. Auf der untern Stange ſitzt die Spule, die den Drahtvorrat enthält. Die obere, mit einer Kurbel verſehene Stange trägt die Induktorſpule, deren Höhlung man mit Holzpfropfen verſchließt. Dreht man die Induktorſpule, ſo wickelt ſich der Draht, deſſen Anfang man durch die eine Flanſche geſteckt und mit einer der Klemmen verbunden hat, langſam auf. Man führt den Draht beim Wickeln mit der linken Hand und achtet darauf, daß er ſich nicht zu ſtraff ſpannt. Sind die drei Lagen fertig, ſo ſteckt man das Ende des Drahtes durch die zweite Flanſche, führt es an der Außenſeite hoch und befeſtigt es an der zweiten Primärklemme (vergl. Abb. 169). Man ſoll ſtets die durch ihre Stellung zuſammengehörenden Klemmen für eine Wicklung verwenden, alſo nicht etwa das eine Ende der Primärwicklung mit der Klemme links vorn, das andere mit der Klemme rechts hinten verbinden. Ein ſolches Durcheinander iſt ſpäter ſehr läſtig. Die fertige Primärwicklung wird mehrmals mit Schellack beſtrichen und dann mit 5—6 Lagen Paraffinpapier bedeckt. Die Paraffinblätter müſſen durchaus fehlerlos ſein und ganz eng an die Flanſchen anſchließen.

Für die Sekundärwicklung brauchen wir 10—12000 Meter (= 1—1¼ kg) Kupferdraht von 0,12 mm Stärke. 1 kg einfach mit Seide umſponnener Draht von 0,12 mm Stärke koſtete vor dem Kriege 16—17 Mk. Bei doppelter Umſpinnung mit Seide kam die gleiche Menge auf 21—22 Mark zu ſtehen. Wer die Koſten nicht zu ſcheuen braucht, ſoll unbedingt zweimal umſponnenen Draht nehmen. Man kann aber auch mit einmal umſponnenem Draht bei ſorgfältiger Arbeit ganz gut auskommen, wenn man die einzelnen Lagen außer durch Paraffinpapier noch durch Beſtreichen mit flüſſigem Paraffin oder Schellack voneinander iſoliert. Daß einmal umſponnener Draht noch lange nicht die untere Grenze darſtellt, geht am beſten daraus hervor, daß man die Sekundärſpule ſogar aus blankem Draht wickeln kann, von dem 1 kg vor dem Kriege nur 4—5 Mk. koſtete. Man muß dann

einen Seidenfaden mit aufwickeln, der ſich iſolierend zwiſchen die einzelnen Windungen legt. Auch kann man zwiſchen je zwei Windungen immer eine Drahtbreite frei laſſen und die Zwiſchenräume hernach durch flüſſiges Paraffin ausfüllen. Ich möchte meinen Leſern jedoch nicht raten, einen Verſuch mit blankem Draht zu machen, da der Erfolg faſt ſicher ausbleiben wird, wenn man nicht eine beſonders gebaute Wickelmaſchine benutzen kann, wie ſie die Induktorfabriken verwenden. Man ſoll lieber die etwas größere Ausgabe für iſolierten Draht

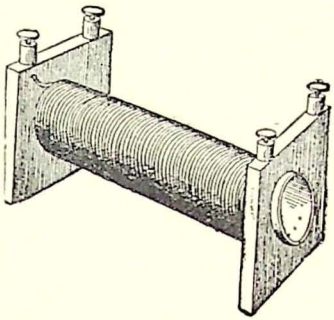


Abb. 169. Die mit der Primärwicklung verſehene Spule.

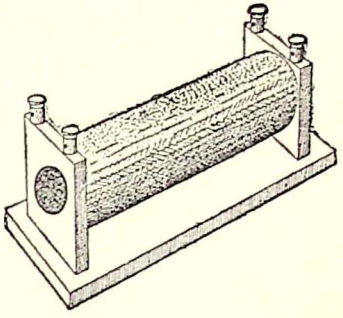


Abb. 170. Die fertig bewickelte und mit dem Eiſenkern verſehene Spule, von hinten geſehen.

in den Kauf nehmen. Dann hat man wenigſtens die Gewißheit, daß man ſein Ziel auch erreicht.

Da die Spannung in der Sekundärwicklung von innen nach außen raſch zunimmt, müſſen die mittleren und äußeren Lagen beſonders gut iſoliert werden. Als Regel gilt, daß die inneren Lagen durch je ein Blatt Paraffinpapier, die mittleren durch je zwei, die 6—8 äußerſten durch je drei Blätter voneinander zu trennen ſind. Bei nur einmal umſponnenem Draht kommt noch ein Paraffin- oder Schellacküberzug für jede Lage hinzu.

Von den Innenflächen der beiden Flanſchen ſoll die Sekundärwicklung mindeſtens 2 cm entfernt bleiben. Anfang und Ende der Wicklung werden mit ſtärkeren Kupferdrähten verlötet, durch die Flanſchen hindurchgeführt und mit den beiden noch freien Klemmen verbunden. Die fertige Spule wird durch eine

Hartgummihülle nach außen hin abgeſchloſſen. Dieſe Hülle ſtellt man aus einer 1 mm ſtarken, außen polierten Hartgummiplatte paſſender Größe her, die man durch Eintauchen in kochendes Waſſer erweicht, um ſie dann, ſolange ſie noch heiß und biegſam iſt, um die Spule herumzulegen. Die zuſammenſtoßenden Ränder der Platte ſind vor dem Erwärmen mit einem glühenden Eiſendraht zu durchlochen. Die Löcher ſollen 3—4 cm voneinander und mindeſtens 1 cm vom Rande entfernt ſein. Liegt die Platte glatt auf der Spule, ſo zieht man ein Seidenband durch die Öffnungen und ſchnürt die Hülle damit zuſammen. Der Saum ſoll ſich auf der dem Grundbrett zugekehrten Seite befinden. Als Erſatz kann Zelluloid dienen.

Der Induktorkern wird aus 1 mm ſtarken, gut ausgeglühten und einzeln lackierten Eiſendrähten angefertigt. Er ſoll die Höhlung der Spule vollſtändig ausfüllen. Wir machen ihn 27 cm lang und laſſen die Drähte hinten genau mit der Außenfläche der Flanſche abſchließen (vergl. Abb. 170). Sie ragen dann vorn 2 cm weit aus der Spule hervor.

Als Unterbrecher wird ein Hammerunterbrecher verwendet. Das als Anker dienende runde Eiſenplättchen (Dicke etwa 2 mm, Durchmeſſer 2 cm) wird an eine kräftige ſtählerne Feder gelötet, die an einem aus 2 mm ſtarkem Meſſingblech angefertigten L-förmigen Ständer befeſtigt wird. Dieſer Ankerſtänder wird, wie Abb. 173 zeigt, mit der Anſchlußklemme A_1 verbunden. Die Kontaktſchraube ſitzt gleichfalls in einem L-förmigen Meſſingſtänder (Abb. 171). Die Schraubenſpitze P beſteht aus einem kleinen Wolfram- oder Platinſtift. Ihm entſpricht ein auf die Ankerfeder gelötetes Wolfram- oder Platinplättchen. Abb. 173 zeigt, wie die Kontaktſchraube auf dem Grundbrett anzubringen iſt. Sie wird mit der Primärklemme P_1 verbunden. Verbindet man dann noch die Primärklemme P_2 mit der Anſchlußklemme A_2, ſo iſt unſer Induktor der Hauptſache nach fertig.

Aber nur der Hauptſache nach, — denn wenn wir ihn ſo, wie er jetzt iſt, in Betrieb ſetzen, ſo werden wir zwar ganz hübſche Funkenentladungen erhalten, aber mit der ver-

ſprochenen Schlagweite von 5 cm wird es noch hapern. Daran iſt die Selbſtinduktion der Primärwicklung ſchuld. Jede primäre Windung induziert nämlich nicht nur alle ſekundären, ſondern

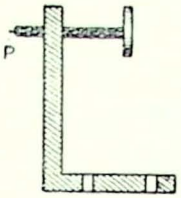


Abb. 171. Die Kontaktſchraube des Hammerunterbrechers mit ihrem Ständer.

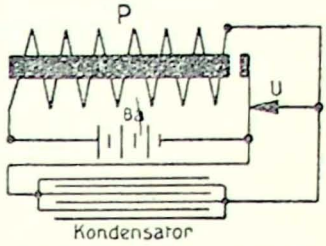


Abb. 172. Wie der Kondenſator mit dem Induktor zu verbinden iſt.

auch alle übrigen primären Windungen, ſo daß auch in der Primärſpule Induktionsſtröme entſtehen. Dieſe Induktionsſtröme nennt man Extraſtröme. Sie rufen bei jeder Unterbrechung zwiſchen den Kontakten des Unterbrechers kleine

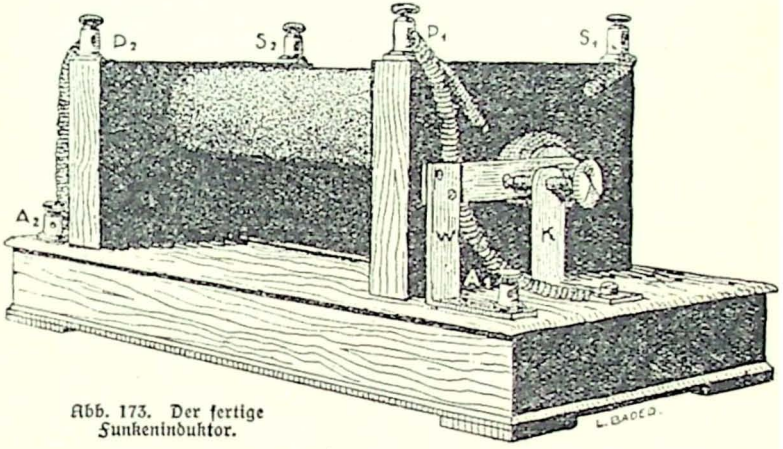


Abb. 173. Der fertige Funkeninduktor.

Funken hervor, und verhindern dadurch den Primärſtrom, ſofort nach der Unterbrechung auf Null zurückzugehen. Sie hängen ihm in den Unterbrechungsfunken gewiſſermaßen noch ein Schwänzchen an, das den Strom ganz allmählich abflauen läßt. Zur Erzielung ſtarker Sekundärſtröme brauchen wir aber

ſcharfe Unterbrechungen. Die in der Primärſpule entſtehenden Extraſtröme hindern alſo unſern Induktor, ſeine volle Leiſtungsfähigkeit zu zeigen. Bei kleineren Induktionsapparaten können wir dieſen Übelſtand vernachläſſigen, weil er dort keine beſondere Rolle ſpielt. Bei Funkeninduktoren aber müſſen wir ihn nach Möglichkeit beſeitigen. Das geſchieht dadurch, daß wir die Primärſpule mit einem Kondenſator zuſammenſchalten, einer Art Aufſpeicherungsapparat für Elektrizität aus zahlreichen voneinander iſolierten Stanniolblättern, die nach Abb. 172 zur Hälfte mit dem Anker, zur andern Hälfte mit der Kontaktſchraube des Unterbrechers verbunden werden.

Das zur Herſtellung eines Kondenſators notwendige Stanniol erhält man in elektrotechniſchen Geſchäften oder in Papierhandlungen.*) Wir brauchen etwa 100 23×18 cm große Blätter, die wir am beſten gleich beim Einkauf ſchneiden laſſen. Außerdem ſind noch gleich viel Stanniolſtreifen von 3 cm Breite und 8 cm Länge nötig. Zur Iſolation dient Paraffinpapier. Die Paraffinblätter ſollen die Stanniolſchichten jederſeits um etwa 2 cm überragen, müſſen alſo 27 cm lang und 22 cm breit ſein. Vor dem Paraffinieren iſt jedes Blatt auf Fehler und dünne Stellen zu prüfen. Alle nicht ganz tadelloſen Blätter ſind unbedingt zu entfernen. Iſt das Paraffinpapier zum Gebrauch fertig, ſo legt man ein dünnes, beiderſeits glatt gehobeltes, 27 cm langes und 22 cm breites Brettchen flach auf den Tiſch, legt zunächſt 3 Blatt Paraffinpapier und dann ein Blatt Stanniol darauf, wobei man darauf achtet, daß rings um das Stanniol ein gleich breiter Papierrand bleibt. Sodann legt man einen der Stanniolſtreifen genau in der Mitte der rechten Schmalſeite ſo auf das Stanniolblatt, wie es Abb. 174 zeigt. Das den Rand des Brettes überragende Stück ſoll 3—3½ cm lang ſein. Die nächſte Schicht bildet ein Blatt Paraffinpapier, das vorſichtig aufgelegt wird, damit ſich nichts verſchiebt. Darauf kommt wieder ein Stanniolblatt mit einem Stanniolſtreifen, der diesmal an der linken Schmalſeite aufgelegt wird, und ſo

*) Als Erſatz dient nötigenfalls Aluminiumfolie.

fährt man mit dem Aufeinanderlegen der Paraffin- und der Stanniolblätter fort, indem man die zugehörigen Streifen immer abwechſelnd auf die rechte und die linke Seite legt. Den Abſchluß bilden drei Blatt Paraffinpapier, auf die ein zweites, beiderſeits glatt gehobeltes Brett kommt. Man umſchnürt dann das Ganze ſorgfältig mit paraffiniertem Leinenband,

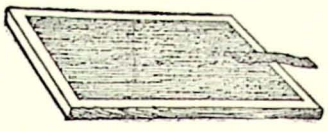


Abb. 174. Wie die Stanniolblätter auf die Unterlage und die Stanniolſtreifen auf die Stanniolblätter zu legen ſind.

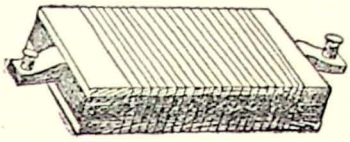


Abb. 175. Der fertige Kondenſator.

durchbohrt die rechts und links vorſtehenden Stanniolſtreifen vorſichtig und preßt ſie durch eingeſetzte Klemmſchrauben unter Verwendung großer Unterlegſcheiben feſt aneinander. Abb. 175 zeigt, wie der fertige Kondenſator ausſehen ſoll.

Oben wurde erwähnt, daß wir für unſern Kondenſator etwa 100 Stanniolblätter brauchen. Dieſe Zahl gilt jedoch nur als ungefähre Angabe. Jeder Kondenſator muß auf ſeinen Induktor abgeſtimmt werden, d. h. die Zahl der Stanniolblätter iſt durch Verſuche zu ermitteln, da ein zu großer Kondenſator ebenſo ſchadet wie ein zu kleiner. Dieſe Abſtimmung nimmt man folgendermaßen vor: Man gibt dem Kondenſator etwa $^3/_4$ der vorgeſehenen Blattzahl, ſchaltet ihn dann probeweiſe zwiſchen Hammerſtänder und Kontaktſchraube ein, ſetzt den Induktor in Betrieb und ſchätzt die Länge der erzeugten Funken ab. Dann ſchaltet man den Strom wieder aus, vergrößert den Kondenſator um einige Blätter und prüft von neuem. Hat die Schlagweite ſich vergrößert, ſo wird die

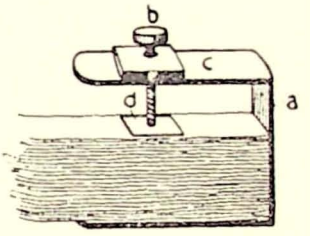


Abb. 176. Wie man die Stanniolſtreifen des Kondenſators am beſten miteinander verbindet, um die Abſtimmung vornehmen zu können.

Blattzahl noch weiter vermehrt. Sind die Funken aber kürzer geworden, so ist der Kondensator schon zu groß. Man nimmt dann einige Blätter mehr fort, als man hinzugefügt hatte, und prüft abermals. Auf diese Weise findet man schnell heraus, wie groß der Kondensator sein muß, damit der Induktor seine Höchstleistung hergibt. Die Stanniolstreifen werden für diese Versuche provisorisch nach Abb. 176 verbunden. Die dazu benutzten Klemmen bestehen aus einem 2—3 cm breiten Messingstreifen a, einer Messingschraube b und einer an den Streifen a gelöteten Schraubenmutter c. Unter die Schraubenspitze legt man ein nicht zu schwaches Messingplättchen d,

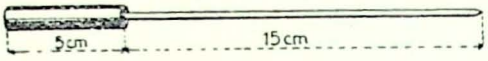


Abb. 177. Einfache Elektrode für den Funkeninduktor.

damit der Druck der Schraube die Stanniolstreifen nicht beschädigt.

Der fertige Kondensator wird in einem passenden Holzkasten untergebracht, auf dessen Deckel wir den Induktor, den Unterbrecher und die zugehörigen Klemmen montieren (vergl. Abb. 173). Zur Verbindung der Kondensatorklemmen mit dem Ankerständer und der Kontaktschraube (vergl. Abb. 172) benutzt man starke, gut isolierte Kupferdrähte, die an der Unterseite des Deckels befestigt und durch Bohrungen nach außen geführt werden. Der Kondensatorkasten muß sich öffnen lassen, damit der Kondensator bequem zugänglich bleibt. Am besten befestigt man den Deckel durch Scharniere und in Ösen eingreifende Häkchen, so daß man ihn jederzeit aufklappen kann, wenn der Kondensator bei Störungen untersucht werden soll.

Um die Schlagweite der Funken bequem ändern zu können, fertigt man nach Abb. 177 aus 2 mm starkem Kupfer- oder Messingdraht zwei je 20 cm lange, vorn zugespitzte und am andern Ende mit isolierenden Handgriffen (durch Siegellack oder Gips befestigte Glasröhrchen von 5 cm Länge) versehene Elektroden an, die man in den Sekundärklemmen festklemmt.

Röhren mit verdünnten Gasen (Geißlerröhren, Crookessche

Röhren, Röntgenröhren uſw.) befeſtigt man am beſten in einfachen Holzgeſtellen (ſoweit ſie nicht mit Füßen verſehen ſind) und führt ihnen den Strom durch für Hochſpannung iſolierte Leitungsdrähte von den Sekundärklemmen aus zu. Eine direkte Befeſtigung durch in die Sekundärklemmen geſchobene Drahtbügel, die man beſonders bei kleinen, käuflichen Apparaten häufig ſieht, empfiehlt ſich nicht.

Zum Betrieb unſeres Induktors ſind mindeſtens 6 hintereinandergeſchaltete große Bunſen- oder Chromſäureelemente notwendig, wenn die volle Leiſtung erzielt werden ſoll. Bei kleinen Elementen muß man zu einer gemiſchten Schaltung greifen, um die erforderliche Stromſtärke (etwa 6 Amp.) und die nötige Spannung (etwa 10 Volt) herauszuholen. Noch beſſer eignet ſich eine ſtarke Akkumulatorenbatterie zum Betrieb des Induktors oder eine kleine Dynamo entſprechender Leiſtung. Etwas größere Stromſtärke ſchadet nicht, doch ſoll man über 7—8 Ampere nicht hinausgehen.

* * *

Für Verſuche mit drahtloſer Telegraphie, Teslaſtrömen, Röntgenſtrahlen und dergl. iſt ein Induktor von mindeſtens 5 cm Funkenlänge erforderlich, wenn man einigermaßen gute Ergebniſſe erhalten will. Die Erſcheinungen beim Durchgang hochgeſpannter Ströme durch verdünnte Gaſe laſſen ſich dagegen ſchon mit kleineren Funkeninduktoren ſtudieren, die natürlich billiger zu bauen ſind. Auch für die bekannten Experimente mit Leydener Flaſchen und Blitztafeln, ſowie zu Verſuchen über elektriſche Zündung, zum Durchbohren von Glasplatten, zur Herſtellung ſogen. Hauchbilder uſw., genügen kleinere Induktoren vollauf. Wer ſich auf ſolche Verſuche beſchränken will, kann daher die Ausgaben für einen großen Funkeninduktor ſparen. Die nötigen Angaben für den Bau von zwei Induktoren geringerer Funkenlänge ſind nachfolgend kurz zuſammengeſtellt.

5 mm Schlagweite: Länge der Spule 9 cm; Durchmeſſer der Flanſchen 5 cm; Dicke der Flanſchen 5 mm; Länge des

Eiſenkerns 10 cm; Durchmeſſer des Eiſenkerns 1 cm; Primärwicklung: 3 Lagen Draht von 0,60 mm Stärke; Sekundärwicklung: 100—120 g Draht von 0,10 mm Stärke; Kondenſator: vierzig 5×3,8 cm große Stanniolblätter; Hammerunterbrecher; Stromquelle: 1 Bunſenelement mittlerer Größe.

18—20 mm Schlagweite: Länge der Spule 18 cm; Durchmeſſer der Flanſchen 6—7 cm; Dicke der Flanſchen 1 cm; Länge des Eiſenkerns 20 cm; Durchmeſſer des Eiſenkerns 2 cm; Primärwicklung: 3 Lagen Draht von 1,2 mm Stärke; Sekundärwicklung: 3—400 g Draht von 0,10 mm Stärke; Kondenſator: ſechzig 10×10 cm große Stanniolblätter; Hammerunterbrecher; Stromquelle: 3 auf Spannung geſchaltete mittelgroße Bunſenelemente.

Fünfzehntes Kapitel.

Apparate für Wellentelegraphie.

1. Allgemeines.

Wenn man einen Stein ins Waſſer wirft, ſo werden die Waſſerteilchen dort, wo der Stein die Waſſerfläche trifft, in Schwingungen verſetzt. Dieſe Schwingungen rufen kleine, kreisrunde Wellen hervor, die ſich raſch vergrößern und ſich nach allen Seiten hin fortpflanzen, bis ſie am Ufer langſam verebben. Ein ganz ähnlicher, für uns unſichtbarer Vorgang ſpielt ſich ab, wenn zwiſchen den Elektroden eines Funkeninduktors ein elektriſcher Funke überſpringt. Auch dann entſtehen Schwingungen und Wellen, und zwar Wellen im Äther,*) die

*) Als Äther bezeichnet die Wiſſenſchaft ein äußerſt dünnes und feines Etwas, das das ganze Weltall erfüllen ſoll, und zwar ebenſo gut den Raum zwiſchen den Sternen, wie den zwiſchen den Atomen aller chemiſchen Stoffe, alſo aller Körper. Den Äther denkt man ſich als mit unſeren Inſtrumenten unwahrnehmbar. Sein Daſein iſt alſo auch nicht durch Tatſachen erwieſen. Wir müſſen ſeine Exiſtenz aber annehmen, weil eine ganze Reihe von Naturerſcheinungen nur mit ſeiner Hilfe er-

ſich mit großer Geſchwindigkeit nach allen Seiten hin fortpflanzen, bis ſie weit draußen im Weltenraum langſam verebben. Dieſe elektriſchen oder Ätherwellen kann man durch geeignete Apparate fern vom Entſtehungsort auffangen. Läßt man die Funken eines Funkeninduktors nun im Rhythmus der Morſezeichen überſpringen, führt man alſo bald kurze, bald längere Entladungen herbei, ſo gehen abwechſelnd kurze und lange Wellenzüge hinaus in den Raum, die ihre Botſchaft im Empfangsapparat in Morſezeichen wiederholen. Das iſt das Prinzip der Wellen- oder Funkentelegraphie, die heute ſo viel von ſich reden macht.

Allerdings dürfen wir uns die Geſchichte nicht ſo vorſtellen, als ob wir nur einen Klopfer oder einen Morſeſchreiber unſerm Funkeninduktor gegenüber aufzuſtellen brauchten, um ſofort drahtlos telegraphieren zu können. So einfach iſt die Sache nicht. Die elektriſchen Wellen ſind viel zu ſchwach dazu, direkt einen Morſeſchreiber zu betätigen. Sie können am Empfangsort höchſtens winzig kleine Fünkchen hervorbringen, die mit bloßem Auge kaum wahrnehmbar ſind.

Aber dieſe Fünkchen genügen uns vollauf. Es gibt nämlich einen ganz einfachen Apparat, der durch ſolche Fünkchen in Betrieb geſetzt werden kann. Durch dieſen Apparat kann man eine Hilfsbatterie ſchließen, die dann den Morſeſchreiber oder Klopfer in Tätigkeit ſetzt.

Die Geſchichte klingt ein wenig kompliziert. Wenn wir ſie aber ausprobieren, werden wir ſehen, daß alles ganz einfach iſt. Wir ſchütten ein Häufchen feiner Eiſenfeilſpäne auf eine ſaubere Glasplatte oder ein Blatt Papier und ſchieben zwei Eiſendrähte von rechts und links ſo in die Feilſpäne hinein, wie es Abb. 178 zeigt, achten jedoch darauf, daß die in den Feilſtäubchen ſteckenden Enden der Drähte ſich nicht berühren. Damit iſt der Wellen-Empfänger ſchon fertig. Wenn wir ein

klärt werden kann. Am beſten denken wir ihn uns als eine Flüſſigkeit, in der die ganze Erdkugel mit allem, was darauf iſt, ſchwimmt, die aber auch die Poren der Luft, unſere Wände, uns ſelbſt, überhaupt alles durchdringt.

gutes Trockenelement und ein Galvanoſkop an die freien Enden der Drähte anſchließen, werden wir ſehen, daß das Galvanoſkop keinen oder nur einen ganz geringen Strom anzeigt. Der Übergangs-Widerſtand zwiſchen den locker geſchichteten Eiſenſtäubchen iſt nämlich zu groß, als daß ihn der Elementſtrom überwinden könnte. Das ändert ſich, ſobald wir den Eiſenſtäubchen mit elektriſchen Wellen zuleibe gehen. Wir holen unſern Funkeninduktor herbei, ſtellen ihn in 4—5 m Entfernung vor dem Wellen-Empfänger auf, verbinden die Primärſpule mit einer ſtarken Batterie und einem Morſetaſter zu einem geſchloſſenen Stromkreis und ſchieben die Funkenſtrecke ganz eng zuſammen, ſo daß bei jedem Taſtendruck ein knattern-

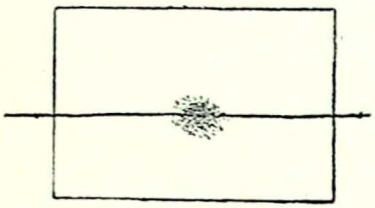


Abb. 178. Der einfachſte Empfänger für elektriſche Wellen: ein Häufchen Eiſenfeilſpäne mit hineingeſchobenen Eiſendrähten.

Abb. 179. Doppelklemme.

der Funkenſtrom überſpringt. Damit hätten wir eigentlich ſchon alle Apparate beiſammen, aber wir können den Wellen ihre Aufgabe weſentlich erleichtern, wenn wir ſowohl mit dem Induktor wie mit dem Wellen-Empfänger je einen blanken Draht, eine ſogen. Antenne, verbinden. Beim Sender begünſtigt die Antenne das Ausſtrahlen der Wellen. Auf der Empfangsſtation fängt ſie die Wellen auf und leitet ſie dem Empfänger zu. Am beſten verwendet man für die Antennen 80—100 cm lange blanke Kupferdrähte von 2—3 mm Stärke. Am Sendort wird der ſenkrecht emporragende Draht mit der einen Sekundärklemme des Induktors verbunden. Als ſogen. Gegengewicht kommt an die andere Sekundärklemme ein frei herabhängender blanker Erddraht. In der Empfangsſtation werden die Antenne und der Erddraht mit den beiden Drähten des Wellen-

Empfängers verbunden, die man der Einfachheit halber mit Doppelklemmen (Abb. 179) verſieht, ſo daß auch Batterie und Galvanoſkop bequem angeſchloſſen werden können. Abb. 180 läßt die ganze Anordnung deutlich erkennen.

Bevor wir den Verſuch anſtellen, überzeugen wir uns nochmals davon, daß die Drähte k_1 und k_2 in den Eiſenſtäubchen ſich nicht berühren, daß alſo das Galvanoſkop G keinen Strom anzeigt. Dann drücken wir die Morſetaſte Au. Sofort beginnt der Induktor zu arbeiten, zwiſchen den Elektroden ſpringen klatſchende Funken über, und gleichzeitig ſchlägt das

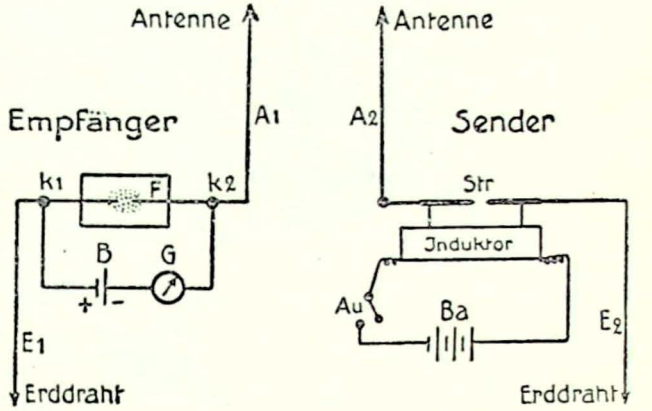


Abb. 180. Schaltſchema für unſere erſten Verſuche mit elektriſchen Wellen.

Galvanoſkop kräftig aus. Die von der Sendeantenne ausſtrahlenden elektriſchen Wellen rufen im Wellen-Empfänger zwiſchen den Eiſenſtäubchen kleine Fünkchen hervor, die die Eiſenteilchen leicht aneinanderſchweißen. Infolgedeſſen entſteht eine leitende Brücke zwiſchen den beiden Nadeln, und der Strom des Elements B kann das Galvanometer betätigen. Sobald wir den Stromkreis am Sendeort öffnen, geht die Galvanometernadel auf Null zurück, ein Zeichen, daß die Verbindung zwiſchen den Empfängerdrähten nur beſteht, ſolange elektriſche Wellen auf die Empfangsantenne treffen. Senden wir die Wellen nun im Rhythmus der Morſezeichen, ſo voll-

führt auch die Nadel entsprechende Schwingungen. Allerdings ist das Galvanometer als Morse-Empfänger nicht sehr brauchbar, weil die Nadel erst immer einige Zeit hin- und herschwingt, bevor sie ihre richtige Stellung einnimmt. Wir können aber an Stelle des Galvanometers auch einen Klopfer oder eine Klingel einschalten. Wenn die Apparate empfindlich genug sind, wird der Versuch auch dann gelingen, so daß wir die Morsezeichen abhören können.

Die beschriebene Einrichtung gestattet aber nur auf ganz geringe Entfernungen drahtlos zu telegraphieren; sie ist auch insofern nicht besonders praktisch, als der Wellen-Empfänger, der in der Fachsprache Fritter (fritten = aneinanderhaften) heißt, in seiner einfachen Zusammensetzung recht unbequem zu handhaben ist. Für Versuche auf weitere Entfernungen und für Dauerbetrieb bauen wir uns also besser zweckmäßigere Apparate. Auch der Funkeninduktor muß in einigen Kleinigkeiten abgeändert werden. Damit wollen wir unsere Arbeit beginnen.

2. Der Funkeninduktor.

Um einigermaßen beträchtliche Entfernungen, sagen wir einige hundert Meter, drahtlos überbrücken zu können, brauchen wir einen Induktor von mindestens 5 cm Schlagweite. Primär- und Sekundärklemmen werden nicht oben auf den Flanschen, sondern an deren Vorderkante befestigt, wie es Abb. 181 zeigt. Auf dieser Abbildung ist der Hammerunterbrecher der Übersichtlichkeit halber weggelassen. In Wirklichkeit darf er natürlich nicht fehlen, da durch seine Tätigkeit ja erst die Induktionsströme entstehen. Die beiden Flanschen werden oben durch ein glatt gehobeltes, etwa 5 cm breites Brett verbunden, das durch beiderseits untergelegte Holzklötzchen so weit zu erhöhen ist, daß zwischen Brett und Spule ein Zwischenraum von etwa 4 cm Weite entsteht. Auf dem Brett, das man am besten mehrmals mit Schellack oder Paraffin bestreicht, befestigt man zwei starke Doppelklemmschrauben, die durch für Hochspannung isolierte Drähte mit den Sekundärklemmen verbunden werden.

Die Form der Doppelklemmen geht aus Abb. 182 genauer hervor. Man wird ſolche Klemmſchrauben kaum käuflich erhalten, muß ſie daher von einem Metalldreher anfertigen laſſen. Nötigenfalls kann man ſie auch aus käuflichen Apparatklemmen der in Abb. 183 gezeigten Art durch Einfügen der Seitenſchraube S ſelbſt anfertigen. Dieſe Seitenſchraube wird zum Feſtklemmen des zu der Antenne führenden Drahtes benutzt.

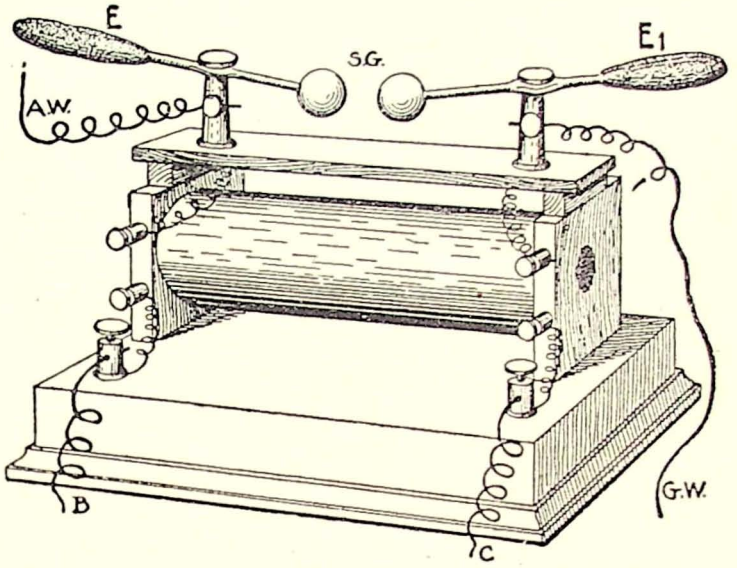


Abb. 181. Funkeninduktor für Wellentelegraphie, mit aufmontierter Funkenſtrecke; der Unterbrecher iſt der Überſichtlichkeit halber weggelaſſen.

Die Kopfſchraube K dient zur Befeſtigung der in Meſſingkugeln endenden Elektroden E und E_1 (Abb. 181), die miteinander die Funkenſtrecke SG bilden. Bei Kugelelektroden werden die Funken kürzer als bei Spitzen, dafür aber dicker, ſtärker und lauter. Die Kugeln laden ſich nämlich erſt mit Elektrizität, die ſie dann auf einmal abgeben.

Die Kugelelektroden werden nach Abb. 184 aus zwei etwa 25 cm langen und 3 mm ſtarken Meſſingdrähten hergeſtellt. Das eine Ende wird mit einem iſolierenden Handgriff B

verſehen. Das andere Ende trägt eine hohle Meſſingkugel B von 3—4 cm Durchmeſſer. Die Meſſingkugeln laſſen wir uns vom Spengler anfertigen. Die Griffe B ſtellen wir am beſten aus mit Gips aufgekitteten Glasröhren her. Holzgriffe ſind

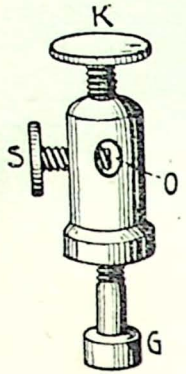


Abb. 182. Doppelklemme zur Befeſtigung der Kugelelektroden auf dem Funkeninduktor.

Abb. 183. Aus ſolchen Apparateklemmen laſſen ſich die in Abb. 182 gezeigten Doppelklemmen leicht anfertigen.

nicht beſonders zu empfehlen, dagegen kann man die Griffe auch aus einer aus 8 Teilen Gips und 2 Teilen Dextrin und etwas Waſſer hergeſtellten plaſtiſchen Maſſe formen, die man direkt auf den Draht bringt, um ſie dann langſam trocknen zu laſſen. Das Haften der Maſſe am Metall wird erleichtert,

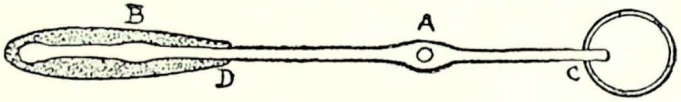


Abb. 184. Kugelelektrode im Längenſchnitt, von oben geſehen.

wenn man den Draht mit der Feile etwas aufrauht und ihn am Ende und etwa in der Mitte des Griffs flach hämmert, wie es in Abb. 184 angedeutet iſt. Sind die Gipsgriffe trocken, ſo glättet man ſie mit einer alten Feile und etwas Glaspapier. Sind Griffe und Kugeln angebracht, ſo werden die Drähte bei A ziemlich flach ausgehämmert und hier mit einer Bohrung verſehen, ſo daß ſie mit den Kopfſchrauben der Doppelklemmen

(vergl. Abb. 181) feſtgeklemmt werden können. Die Entfernung der Bohrung A von der Kugel iſt ſo zu wählen, daß die Kugeln ſich berühren, wenn beide Elektroden in einer Geraden liegen. Die Länge der Funkenſtrecke läßt ſich dann nach Belieben ändern, indem man die Elektroden mehr oder weniger aus der Geraden herausdreht, wie es in Abb. 181 angedeutet iſt. Da die Elektroden drehbar bleiben müſſen, darf man ſie nicht zu feſt einklemmen. Damit ſie trotzdem genau wagrecht ſtehen bleiben, muß man dafür ſorgen, daß ihr Schwerpunkt mit dem Unterſtützungspunkt zuſammenfällt. Durch richtige Wahl der Griffe, die man nötigenfalls durch auf den Draht geſchobene, mit dem Griff verbundene Bleiplättchen beſchweren kann, oder durch Einfüllen von Bleiſchrot in die Kugeln, die übrigens auch maſſiv ſein können, läßt ſich das Gleichgewicht leicht herſtellen.

3. Die Starkſtrom-Morſetaſte.

Die in Abb. 181 mit den Primärklemmen verbundenen

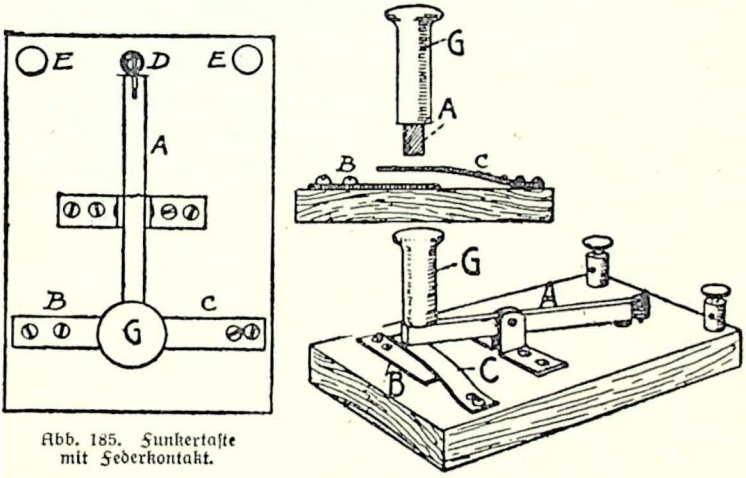


Abb. 185. Funkentaſte mit Federkontakt.

Drähte B und C führen zur Induktorbatterie und zur Morſetaſte. Die auf S. 164 beſchriebene Taſte können wir jedoch für

funkentelegraphiſche Zwecke nicht verwenden, weil der benutzte Primärſtrom zu ſtark iſt, als daß er mit einer gewöhnlichen Morſetaſte ſchnell nacheinander geſchloſſen und unterbrochen werden könnte. Es würden ſich dabei an der Unterbrechungsſtelle kleine Lichtbogen und Öffnungsfunken bilden. Dadurch würde eine exakte Unterbrechung unmöglich, auch würden die

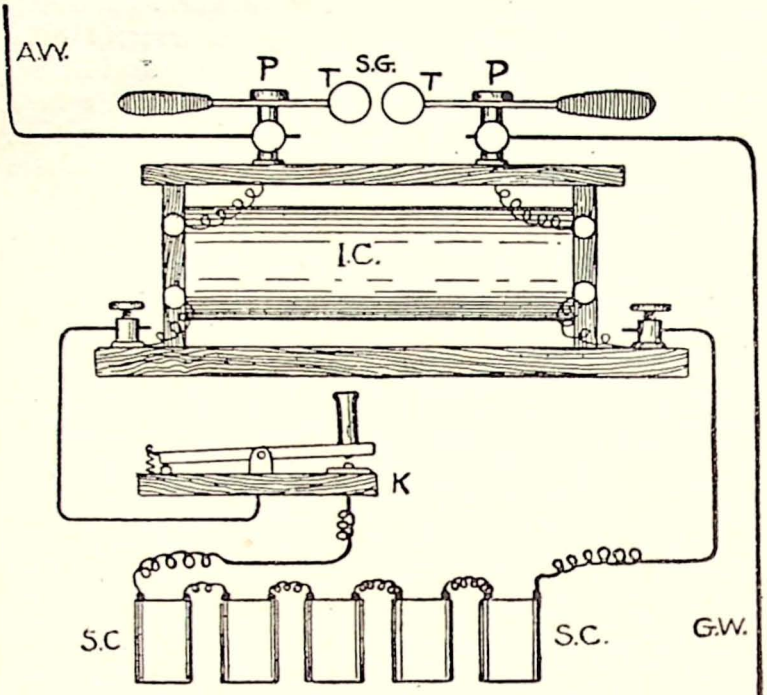


Abb. 186. Wie die einzelnen Apparate des Sendeſtromkreiſes miteinander, mit der Sendeantenne AW und mit der Erdleitung GW zu verbinden ſind.

Taſtenkontakte ſchnell zerſtört. Wir brauchen hier eine Morſetaſte, bei der die Entſtehung von Lichtbogen uſw. ſicher verhindert wird, die alſo Gewähr für exakte Unterbrechungen bietet.

Derartige nichtfunkende Starkſtromtaſten kann man auf verſchiedene Weiſe bauen. Ein ſehr einfaches Modell ſehen

wir in Abb. 185. Auf einem ſtarken, oben mit Fibre oder Hartgummi belegten Grundbrett iſt ein kräftiger Meſſinghebel A in einem aus zwei L-förmigen Meſſingwinkeln gebildeten Lager drehbar angebracht. Am hinteren Hebelende greift eine am Grundbrett befeſtigte ſtählerne Schraubenfeder D an, die den Hebel bei ruhender Taſte nach unten zieht und dadurch den Stromkreis geöffnet hält. Unter dem vorderen Hebelende iſt ein federnder Meſſingſtreifen C befeſtigt. Unter dem freien Ende dieſes Streifens liegt ein feſt auf das Grundbrett geſchraubter Meſſingſtreifen B, der mit einer der Anſchlußklemmen E verbunden wird. Von der anderen Klemme führt ein Draht zum Lager L oder zur Schraubenfeder D, ſo daß die Klemme alſo Verbindung mit dem Taſtenhebel erhält. Der Taſtengriff ſoll, wie die Abbildung zeigt, ziemlich hoch ſein. Am beſten iſt ein Porzellanknopf, im Notfall kommt man auch mit einem Glasrohr- oder Holzgriff aus. Schaltet man die Taſte ſo in den aus der Primärſpule des Induktors IC und der Stromquelle SC gebildeten Stromkreis ein, wie es Abb. 186 zeigt, ſo wird der Strom bei jedem Taſtendruck geſchloſſen, beim Loslaſſen der Taſte aber durch die den Taſtenhebel hochziehende Feder unterbrochen. Das Auftreten eines Lichtbogens zwiſchen A und B wird dabei durch die keinen Strom führende Feder C gehindert, die ſich beim Niederdrücken des Hebels feſt auf B preßt und dadurch den Hebel und die Kontaktſchiene leitend verbindet.

4. Die Antenne.

Wenn wir zwei alte Regenſchirme beſitzen, ſo können wir uns auf die einfachſte Weiſe zu guten Luftleitern verhelfen, indem wir den Stoffüberzug entfernen, das Gerüſt aufſpannen, den Schirmſtock an eine lange Latte binden und einen der Gerüſtdrähte durch einen gut iſolierten Leitungsdraht mit unſeren Apparaten verbinden. Solche Antennen arbeiten ſehr gut. Sie eignen ſich insbeſondere für tragbare Stationen, weil man ſie bequem zuſammenklappen und befördern kann.

Andere als zweckmäßig erprobte Luftleiterformen ſind in den Abb. 187 und 188 dargeſtellt. Die in Abb. 187 gezeigte Antenne iſt für Stationen mit geringerer Reichweite (30—40 m) beſtimmt. Die eigentliche Antenne iſt die Stange a, eine 5—6 mm ſtarke, 1 m lange Meſſing- oder Kupferröhre, die bei b mit dem zu den Apparaten führenden, für Hochſpannung iſolierten Draht c verlötet iſt. Zur Befeſtigung des Drahtes c (am beſten verwendet man biegſame, mit Gummi umpreßte Kupferdrahtlitze) benutzt man gelochte Porzellanrollen der in Abb. 189 gezeigten Form. Durch das Loch o wird der Draht geſteckt, während man die Rollen durch um die Rinne R gelegte iſolierte Bindedrähte oder auch durch vorſichtig eingeſchlagene Krampen entſprechender Größe an dem die Antenne tragenden Gerüſt bzw. an den Hauswänden befeſtigt. Die Geſtaltung des Antennenträgers geht aus der Abbildung deutlich hervor. Die Holzſtange A trägt ein Querholz B, das durch die Latte C in ſeiner Stellung gehalten wird. Die Höhe, in der die Antenne aufzuſtellen iſt, hängt davon ab, ob ſich zwiſchen Sende- und Empfangsſtation freies Land oder Gebäude befinden. Im erſten Fall macht man die Stange A 3—4 m lang und befeſtigt ſie direkt im Boden. Im andern Fall kommt man mit einer kürzeren Stange aus, die auf einer Scheune, einem Gartenhaus oder auf dem Wohnhausdach aufgeſtellt wird, ſo daß ſie die zwiſchen Sende- und Empfangsſtation liegenden Gebäude überragt.

Die in Abb. 188 gezeigte Antenne iſt für größere Entfernungen (100 m und mehr) beſtimmt. Mit einem blanken Meſſing- oder Kupferdraht a von 2—3 mm Stärke und 1,5 m Länge ſind mehrere dünne, gleichfalls blanke, ſenkrecht herabhängende Drähte verlötet, die die Auffangefläche vergrößern. Um ein Hin- und Herpendeln dieſer Drähte zu verhindern, kann man die freien Enden durch paraffiniertes Seidenband miteinander und mit den Holzſtangen A und B, die zuſammen mit der Querſtange C das Traggerüſt bilden, verbinden. Der Draht a iſt zwiſchen zwei ihn gegen das Gerüſt iſolierenden Porzellanrollen p_1 und p_2 ausgeſpannt. Bei L iſt der gut

iſolierte Zuführungsdraht c angelötet, der auf die bereits beſchriebene Weiſe in Porzellanrollen befeſtigt wird.

Dieſe Antennenform wird am beſten auf dem Dach unſeres Wohnhauſes angebracht. Handelt es ſich um ein flaches Dach mit mehreren Schornſteinen, ſo läßt ſich das Traggerüſt leicht befeſtigen. Bei ſchrägen Dächern iſt die Sache ſchwieriger.

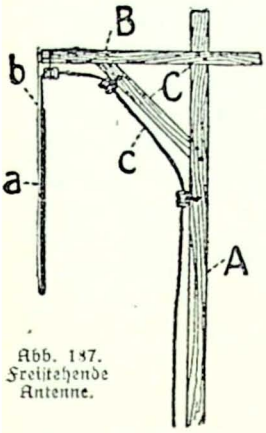


Abb. 187. Freiſtehende Antenne.

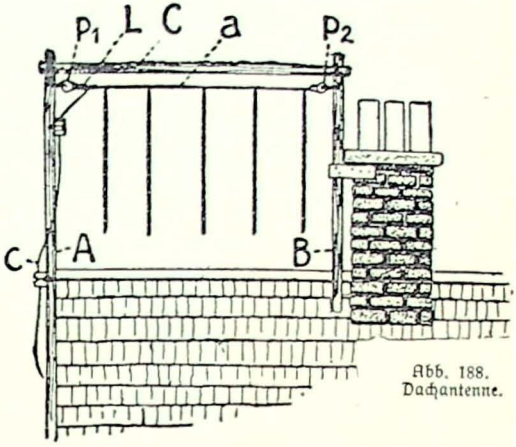


Abb. 188. Dachantenne.

Man wird dann kaum ohne die Hilfe des Dachdeckers auskommen. Auf jeden Fall hüte man ſich vor zu großer Wag-

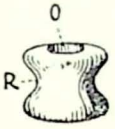


Abb. 189. Porzellanrolle zur Befeſtigung der Antennenleitung.

halſigkeit beim Montieren der Antenne. Ein Arm- oder Beinbruch iſt eine unangenehme Geſchichte. Wohnen wir zur Miete, ſo müſſen wir erſt den Hausherrn fragen, ob wir das Dach benutzen dürfen. Im allgemeinen werden wir wohl mit den einfacheren Antennen auskommen, die man nötigenfalls wie eine Fahne aus einem Dachfenſter heraushängen kann. Auch die beſchriebene Regenſchirm-Antenne kann man an einer Stange aus dem Dachfenſter herausſtecken. Das iſt ein Ausweg, der uns ſchlimmſtenfalls aus der Verlegenheit hilft.

5. Die Erdleitung.

Wenn es uns möglich iſt, den zur Erde führenden Draht mit der Gas- oder der Waſſerleitung zu verbinden, ſo können wir jede beſondere Erdleitung ſparen, da die im Boden liegenden Rohrnetze die beſte Erdleitung darſtellen, die man ſich denken kann. Können wir dieſen Ausweg aus irgendeinem Grunde nicht benutzen, ſo müſſen wir eine beſondere Erdleitung aus einer 1½—2 m tief in feuchten Boden vergrabenen Metall-

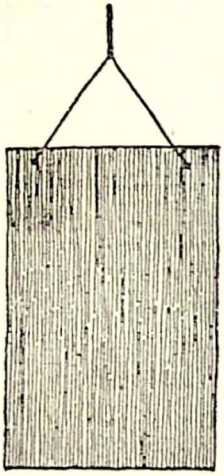


Abb. 190
Senkrecht einzugrabende Erdplatte.

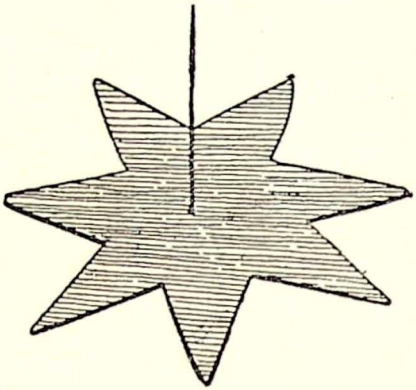


Abb. 191.
Wagrecht einzugrabende Erdplatte.

platte herſtellen. Die Abb. 190 und 191 zeigen zwei verſchiedene Formen ſolcher Erdplatten, die aus gut verzinktem Eiſenblech beſtehen. Die in Abb. 190 dargeſtellte Platte wird ſenkrecht in die Erde eingegraben, während die Sternplatte (Abb. 191) wagrecht gelagert wird. Die Größe der Platten darf nicht zu gering bemeſſen ſein; 1 qm iſt etwa die unterſte Grenze. Für die in der Erde liegende Strecke des Zuführungsdrahtes iſt ſtarker verzinkter Eiſendraht oder Bleikabel zu verwenden. Auf gute Verbindung zwiſchen Erdplatte und Zuführungsdraht iſt beſonders zu achten.

6. Der Fritter.

Der einfache Fritter, den wir zu unſerm erſten Verſuch benutzten, beſtand nur aus einem Häufchen Eiſenfeilſpäne und zwei Stricknadeln. Die verbeſſerten Fritterformen, die wir in den Abb. 192 und 193 ſehen, ſind im Prinzip genau ſo gebaut. Der Fritter in Abb. 192 unterſcheidet ſich von der Urform nur dadurch, daß ſtatt Eiſen- Nickelfeilſpäne verwendet worden ſind, die in einer beiderſeits mit Holz- oder Korkpfropfen verſchloſſenen Glasröhre liegen. Durch die Pfropfen führen zwei ſtarke Nickeldrähte hindurch, die in die Feilſpäne hineinragen, ohne ſich natürlich zu berühren. Mit dieſen Drähten werden

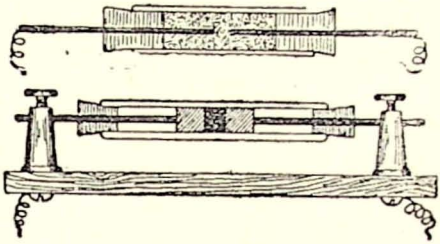


Abb 192.

Abb. 193.

Zwei einfache Fritter.

die Zuführungen zur Empfangsantenne, zur Erdleitung, ſowie zu den Empfangsapparaten durch paſſende Klemmſchrauben verbunden.

Für den in Abb. 193 gezeigten Fritter iſt eine 4—5 mm weite Glasröhre nötig, die beiderſeits mit Kork- oder Holzpfropfen verſchloſſen wird. Die durch die Pfropfen hindurchführenden, in beſonderen Klemmen befeſtigten Nickeldrähte enden in etwa 2 bis 4 mm dicken Nickelkölbchen, die genau in die Röhre paſſen müſſen. Die freien Flächen der beiden Kölbchen, die man aus einem Stück Nickeldraht entſprechender Stärke ſchneidet (Länge etwa 5 mm) ſollen höchſtens 2 mm voneinander entfernt ſein. Der Zwiſchenraum wird mit einem Gemiſch von 1 Teil Silber- und 9 Teilen Nickelfeilſtaub gefüllt. Den Nickel- und Silberſtaub ſtellt man durch Abfeilen entſprechender Münzen her.

Der fertige Fritter wird auf einem auf 2 cm hohen Querleiſten ſitzenden Grundbrett montiert, ſo daß man die Zuführungsdrähte zur Erdleitung, bzw. zum Luftdraht mit den unter dem Grundbrett ſichtbaren, die Fritterklemmen haltenden Gegenſchrauben verbinden kann. Außerdem bringt man ſeitlich von jeder Klemme noch eine zweite Klemmſchraube an, die mit der Hauptklemme leitend verbunden wird. Dieſe Nebenklemmen nehmen die Zuführungsdrähte zu den Apparaten auf.

7. Die übrigen Empfangsapparate.

Die beſchriebenen Fritterformen haben vor der Urform die bequeme Handhabung, die ſich aus dem Einſchluß der Feilſpäne in eine Glasröhre ergibt, voraus. Dieſer Vorteil wird jedoch durch einen Nachteil erkauft. Die eingeſchloſſenen Metallſtäubchen fallen nämlich nach beendeter Beſtrahlung nicht ohne weiteres wieder auseinander. Die durch die auftretenden Ätherwellen gebildete Brücke bleibt vielmehr dauernd beſtehen. Damit iſt uns aber durchaus nicht gedient. Der Fritter ſoll ja die nacheinander eintreffenden, den übermittelten Morſezeichen entſprechenden Wellenzüge ſämtlich anzeigen, und das kann er nur, wenn die Verbindung beim Aufhören der Beſtrahlung gleichfalls aufgehoben wird. Bei unſern neuen Frittern müſſen wir alſo nach jeder Beſtrahlung die Brücke wieder zerſtören. Dieſe Aufgabe iſt nicht ſchwer zu löſen. Man braucht den beſtrahlten Fritter nämlich nur leicht zu erſchüttern, um die zuſammenhaftenden Metallſtäubchen ſofort voneinander zu trennen. Die Erſchütterung bewirkt man am beſten dadurch, daß man eine elektriſche Klingel ohne Glockenſchale ſo vor dem Fritterrohr anbringt, daß der Klöppel beim Rückſchlag leicht auf die Stelle der Röhre trifft, hinter der ſich der Metallſtaub befindet. Damit die Klingel rechtzeitig anſchlägt, ſchaltet man ſie ſo in den Empfangsſtromkreis ein, daß ſie durch den Strom der durch die ankommenden Wellen geſchloſſenen Batterie betätigt wird.

Zum Abhören der Morſezeichen benutzen wir den auf S. 162 beſchriebenen Klopfer. Am einfachſten wäre es, wenn

wir den Apparat an Stelle des Galvanoſkops G in den in Abb. 180 ſkizzierten Empfangsſtromkreis einſchalten könnten. Das geht jedoch aus verſchiedenen Gründen nicht an. Wir müſſen infolgedeſſen zu einer etwas angeänderten Schaltung greifen, die wir in Abb. 194 ſehen.

In dieſer Schaltungsſkizze ſtellt F den Fritter mit ſeinen Klemmen A und A_1 dar, an die die Zuführungen zur Antenne

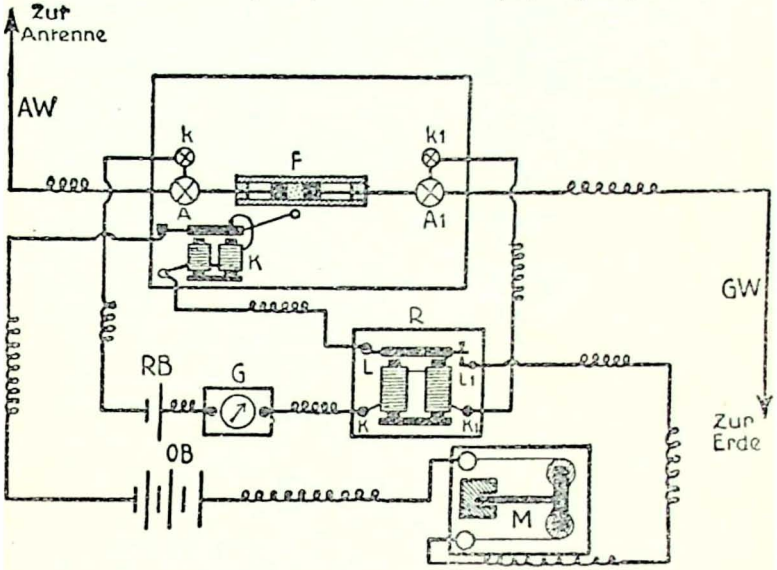


Abb. 194. Wie die Empfangsapparate miteinander, mit der Antenne und der Erde verbunden werden.

AW und zur Erdplatte GW angeſchloſſen werden. Neben den Klemmen A und A_1 ſehen wir die leitend damit verbundenen Nebenklemmen k und k_1. An dieſen Klemmen liegt der ſogen. Relaisſtromkreis, den die aus einem mittelgroßen Trockenelement beſtehende Relaisbatterie RB, das Galvanoſkop G (kann ev. wegbleiben, iſt aber oft praktiſch) und das Relais R bilden.

Das Relais iſt ein für uns noch neuer Apparat, mit deſſen Konſtruktion wir jedoch bald vertraut ſein werden, da es ſich um nichts anderes handelt, als um einen in einigen Ein-

zelheiten abgeänderten elektriſchen Summer. Wir bauen einen ſolchen Summer genau nach der auf S. 152 gegebenen Anleitung, führen jedoch nicht nur den Anfang, ſondern auch das Ende der Elektromagnetwicklung an eine Anſchlußklemme, wie wir es in Abb. 195 ſehen, in der die beiden Klemmen mit K und K_1 bezeichnet ſind. Die beim Summer nötige Verbindung des Elektromagneten mit der Kontaktſchraube S fällt hier fort. Die Schraube S dient bei unſerm Relais nur noch zur Begrenzung der Ankerbewegung. Sie ſorgt dafür, daß ſich der an der Blattfeder F befeſtigte Anker A nicht zu weit von den Magnetpolen entfernt. Die mit der Ankerfeder und dadurch mit dem Anker ſelbſt verbundene Anſchlußklemme L bleibt. Außerdem erhält der Apparat noch eine vierte Anſchlußklemme L_1, die mit einer in einem Holzklötzchen oder einem Meſſingwinkel ſitzenden Kontaktſchraube Z leitend verbunden wird.

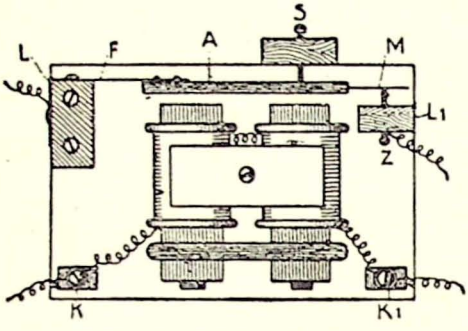


Abb. 195. In ein Relais umgewandelter elektriſcher Summer.

Die Schraube Z wird ſo angebracht, daß ſich ein am freien Ende des Ankers angelöteter Meſſingſtreifen M gegen die Schraubenſpitze legt, ſobald der Anker angezogen wird. Dadurch werden die Klemmen L und L_1 leitend miteinander verbunden. Legt man alſo die Zuführungsdrähte eines zweiten Stromkreiſes, der von einer beſonderen Batterie geſpeiſt wird, an L und L_1, ſo wird dieſer Stromkreis geſchloſſen, wenn der Anker A angezogen wird, und geöffnet, ſobald der Anker in die Ruhelage zurückſchnellt. Gut iſt es, wenn wir der Kontaktſchraube Z eine Platinſpitze geben und gegenüber an M ein Platinplättchen anlöten. Dadurch erhalten wir beſſere Kontakte.

Dieſes Relais ſchalten wir ſo in den Fritterſtromkreis

ein, wie es Abb. 194 zeigt. Der Strom der Batterie RB durchfließt dann die mit den Klemmen K und K_1 verbundene Elektromagnetwicklung, ſobald ankommende Wellen die Brücke im Fritter bilden. An die Klemmen L und L_1 ſchließen wir einen zweiten, von einer aus 2 bis 3 Salmiakelementen beſtehenden Batterie OB geſpeiſten Stromkreis an, in dem wir die mit ihrem Klöppel gegen die Fritterröhre ſchlagende und dadurch die Brücke zerſtörende Klingel K, ſowie den Empfangsapparat M, einen Klopfer, einſchalten.

Trifft bei dieſer Schaltung ein vom Sendeapparat ausſtrahlender Wellenzug auf die Empfangantenne, ſo ſchweißt er die Metallſtäubchen des Fritters F aneinander und ſchließt dadurch den Stromkreis der Batterie RB. Infolgedeſſen zieht das Relais R ſeinen Anker an. Dabei legt ſich der Ankerfortſatz gegen die Kontaktſchraube L_1, ſo daß auch der Stromkreis der Batterie OB geſchloſſen wird. Sofort ſchlägt der Empfangsapparat M an. Gleichzeitig wird aber auch die Klingel in Tätigkeit geſetzt, deren Klöppel leiſe gegen die Fritterröhre klopft und dadurch die Brücke zerſtört. Dauern die Wellen nun noch an — das wird beiſpielsweiſe der Fall ſein, wenn die Sendeſtation einen Strich telegraphiert —, ſo ſtellen ſie nach jeder Zerſtörung die Brücke wieder her. Das geht ſo ſchnell, daß im Empfangsapparat trotz der Unterbrechungen nur ein Zeichen hörbar wird. Treffen aber nach einem Klöppelſchlag keine Wellen mehr ein, ſo bleibt die Brücke zerſtört und der Fritterſtromkreis unterbrochen. Sogleich läßt das Relais R ſeinen Anker los und unterbricht dadurch auch den zweiten Stromkreis, ſo daß ſowohl die Klingel wie der Empfangsapparat aufhören zu arbeiten. Der nächſte Wellenzug ſetzt das Relais und damit die Empfangsapparate von neuem in Tätigkeit, und ſo geht es fort, ſolange die Sendeſtation Zeichen übermittelt.

Liegt uns nicht daran, die Morſezeichen ordnungsmäßig aufzunehmen, ſo können wir den Klopfer auch weglaſſen und dafür die Klingel ſelbſt als Empfangsapparat benutzen. In dieſem Fall iſt die Klingel mit einer Glockenſchale zu verſehen.

Die kürzeren oder längeren Glockenzeichen geben die Punkte und Striche des Morſealphabets wieder. Das Arbeiten wird durch dieſe Vereinfachung aber nicht erleichtert, ſondern eher erſchwert, da die ſchrillen Glockenſignale ſchlecht abzuhören ſind.

Natürlich braucht man auf jeder Station ſowohl einen Sende- wie einen Empfangsapparat, wenn man Telegramme abſenden und aufnehmen will. Antenne und Erdleitung werden für beide Apparatſätze gemeinſam benützt, indem man entſprechende Abzweigungen mit Umſchaltern anbringt. Daß es einiger Übung bedarf, ehe man die Apparate richtig handhaben und die ankommenden Morſezeichen bequem verſtehen kann, ſei beſonders betont. Man darf ſich alſo durch anfängliche Mißerfolge, die gerade auf dieſem Gebiet kaum zu vermeiden ſind, nicht abſchrecken laſſen. Deſto größere Freude wird man haben, wenn die Apparate ſchließlich doch ordnungsgemäß arbeiten, denn dann hat man aus eigener Kraft eine Erfindung nachgeſchaffen, die zu den größten der geſamten Technik gehört.

Sechzehntes Kapitel.

Galvanotechnik.

1. Allgemeines.

Mit der Galvanotechnik betreten wir ein für uns noch neues Gebiet, das weite Reich der chemiſchen Wirkungen der Elektrizität, das Arbeitsfeld der Elektrochemie. Läßt man einen elektriſchen Strom durch eine leitende Flüſſigkeit, etwa durch angeſäuertes Waſſer oder durch eine Salzlöſung, gehen, ſo wird die Flüſſigkeit in ihre Beſtandteile zerlegt. Dieſe Beſtandteile ſcheiden ſich an den in die Flüſſigkeit getauchten Poldrähten der den Zerſetzungsſtrom liefernden Batterie, den ſogen. Elektroden, ab. Am einfachſten läßt ſich dieſe elektriſche Zerlegung, die der Fachmann „Elektrolyſe“ nennt, an einer Löſung von ſchwefelſaurem Kupfer (Kupfervitriol) in Waſſer ſtudieren.

Wir verſchaffen uns für den Verſuch aus einer Drogerie etwas Kupfervitriol, von dem wir 15—20 g in 100 ccm Waſſer löſen, um dann noch einige Tropfen Schwefelſäure hinzuzuſetzen, die die Leitfähigkeit des Gemiſches verbeſſern. Die fertige tiefblaue Löſung kommt in ein Waſſerglas oder in eine Porzellanſchale. Taucht man dann die Poldrähte einer kräftigen Batterie in die Flüſſigkeit, ſo ſieht man ſchon nach kurzer Zeit, daß ſich auf dem vom negativen Batteriepol kommenden Draht, der ſogen. Kathode, Kupfer niederſchlägt, während das in die Flüſſigkeit hineinragende Ende des mit dem poſitiven Pol verbundenen Drahtes, die ſogen. Anode, immer dünner wird. Dieſe merkwürdige Erſcheinung hat folgende Urſache: Das ſchwefelſaure Kupfer (chemiſche Formel $CuSO_4$) wird durch den Strom in Kupfer (Cu) und einen ſogen. Säurereſt (SO_4) zerlegt. Das Kupfer geht mit dem Strom zum negativen Poldraht, zur Kathode, und ſchlägt ſich hier nieder. Der Säurereſt kann für ſich allein nicht beſtehen. Er wandert infolgedeſſen zur Anode, zum poſitiven Pol, löſt hier ein Kupferteilchen los und verbindet ſich mit ihm aufs neue zu Kupfervitriol, das wiederum durch den Strom zerlegt wird. Läßt man die Einzelvorgänge aus dem Spiel, ſo kann man ſagen: Der durch die Kupfervitriollöſung gehende Strom löſt von der Anode Kupfer ab und ſchlägt es auf der Kathode nieder.

Dieſe Tatſache, daß ſich Metalle durch den elektriſchen Strom aus den Löſungen ihrer Salze ausſcheiden und niederſchlagen laſſen, hat man ſchon bald nach ihrer Entdeckung induſtriell nutzbar gemacht. Es liegt ja auf der Hand, daß man auf dieſe Weiſe alle möglichen Gegenſtände, die man als Kathode in einen derartigen Stromkreis bringt, mit einer Metallſchicht überziehen kann, und zwar nicht nur mit Kupfer, ſondern z. B. auch mit Nickel, Gold, Silber, Platin, Eiſen, Meſſing, Zinn, Blei, Antimon, da ſich die Salze dieſer Metalle gleichfalls elektriſch zerlegen laſſen. Der Induſtriezweig, der ſich mit der Herſtellung ſolcher Metallüberzüge beſchäftigt, wird als Galvanoſtegie bezeichnet. Auf die

gleiche Weiſe laſſen ſich auch völlig getreue plaſtiſche Abbilder von Münzen, Reliefs, Statuetten uſw. herſtellen. Das beſorgt ein zweiter Induſtriezweig: die Galvanoplaſtik. Zwei kleine Verſuche ſollen uns das Weſen beider Verfahren klarmachen.

Für den erſten benutzen wir wiederum ein mit Kupfervitriollöſung gefülltes Waſſerglas, nur hängen wir diesmal an den negativen Poldraht, den wir zu einem kleinen Haken biegen, ein Stückchen Weißblech, an den poſitiven Poldraht ein Stückchen Kupferblech. Schalten wir dann den Strom ein, ſo überzieht ſich das Weißblech allmählich vollſtändig mit Kupfer. Iſt die Schicht dick genug, ſo nehmen wir das verkupferte Blechſtückchen aus der Löſung heraus, ſpülen es ſorgfältig ab und putzen es mit Wiener Kalk. Es ſieht dann wie maſſives Kupferblech aus und läßt ſich für viele Zwecke ſtatt Kupferblech verwenden. Das iſt ein Beiſpiel für die Arbeitsweiſe der Galvanoſtegie, die ſich natürlich nicht nur bei Metallen, ſondern auch bei Holz, Ton, Pflanzen, kleineren Tieren uſw. anwenden läßt, nachdem man dieſe Objekte auf irgendeine Weiſe leitend gemacht hat.

Der galvanoplaſtiſche Verſuch bedarf einiger Vorbereitungen. Wir müſſen den Gegenſtand, den wir plaſtiſch nachbilden wollen, nämlich zuerſt abformen. Dieſe Form, die Matrize, wird dann mit Kupfer gefüllt. Am beſten wählen wir für unſer Experiment eine kleine Münze, die wir mit warmem Seifenwaſſer abwaſchen, ſorgfältig trocknen und mit einer Spur Öl abreiben. Dann kleben wir einen 1,5 cm breiten Papierſtreifen ſo um ihren Rand, daß ein flaches Schüſſelchen entſteht, rühren etwas Gips beſter Qualität mit Waſſer zu einem dicken Brei an und gießen das Schüſſelchen damit voll. Nach 20—30 Minuten iſt der Gipsbrei erſtarrt. Wir entfernen den Papierſtreifen, heben die Münze vorſichtig ab und legen die Gipsform auf 12—14 Stunden (am beſten über Nacht) zum Trocknen beiſeite. Durch gelinde Erwärmung läßt ſich das Trocknen beſchleunigen; ſtarke Erhitzung iſt zu vermeiden. Iſt die Form trocken, ſo muß ſie mit einem Zuführungsdraht verſehen und leitend gemacht werden, da der Gips ein Nicht-

leiter iſt. Man feilt mit einer alten Dreikantfeile eine ziemlich tiefe Nut in den Rand der Form (vergl. Abb. 196a), legt einen blanken Kupferdraht in die Rinne, wickelt das eine Ende ſo um das andere, wie es Abb. 196b zeigt, und biegt das Ende des frei emporſtehenden Drahtes, das 5—6 cm lang ſein ſoll, hakenförmig um. Darauf tränkt man die Form mit einer Schellacklöſung (1 Teil Schellack auf 10 Teile Alko-

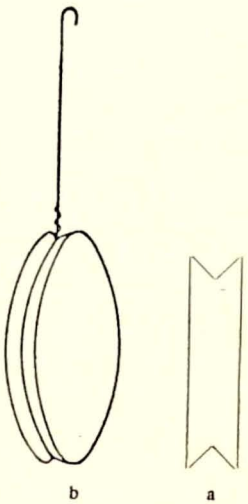


Abb. 196. Die Vorbereitung der Münzform zum Einhängen ins Bad.

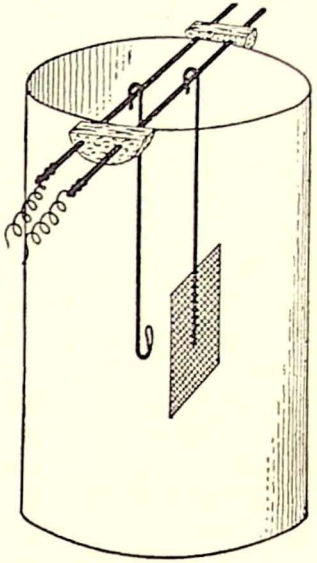


Abb. 197. Der aus einem Einmachglas hergeſtellte galvanotechniſche Apparat fertig zum Füllen.

hol), die man ſo lange aufſtreicht, bis nichts mehr aufgeſaugt wird, läßt wieder trocknen und trägt dann mit einem weichen Haarpinſel feines Graphitpulver (durch Abſchaben von einem Bleiſtift herſtellen) auf die Münzenſeite und den Rand der Form bis zum Kupferdraht auf.

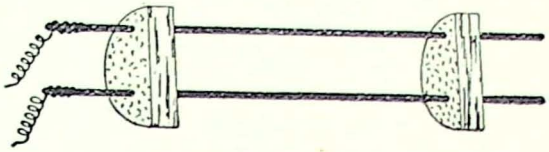
Damit iſt die Form gebrauchsfertig. Wir hängen ſie als Kathode in unſere Kupfervitriollöſung, während wir als Anode wieder ein Stück Kupferblech benützen. Der Strom iſt einzuſchalten, bevor man die Kathode in die Flüſſigkeit taucht.

Das ſich auf der Form niederſchlagende Kupfer dringt bei guter Graphitierung in alle Vertiefungen und Ecken ein, und ſo entſteht ein getreues Abbild der Münze, das im allgemeinen in 12—24 Stunden ſtark genug iſt, um abgehoben zu werden. Man ſteckt dazu eine dünne Meſſerklinge zwiſchen Form und Kupferſchicht, die ſich gewöhnlich ſchon bei leichtem Druck löſt. Der zackige Rand wird mit der Schere weggeſchnitten. Zum Reinigen dient warmes Waſſer, zum Blankputzen Wiener Kalk.

Auf die gleiche Weiſe laſſen ſich Überzüge und Reproduktionen aus den meiſten anderen Metallen herſtellen. Für uns kommt jedoch nur noch die Vernicklung in Frage, da man zur Herſtellung der Gold- und Silberſalzlöſungen uſw. Zyankalium, eines der ſchwerſten Gifte, braucht, deſſen Handhabung für uns zu gefährlich iſt, und das wir auch nirgendwo bekommen. Deshalb beſchränken wir uns bei unſeren Verſuchen vornehmlich auf die Verkupferung und die Vernickelung, die wir z. B. beim Bau unſerer Apparate häufig anwenden können, ſei es um einzelne Teile mit leitenden Überzügen zu verſehen, ſei es, um ihnen ein hübſcheres Ausſehen zu geben.

Wenn wir uns häufiger mit galvanotechniſchen Arbeiten beſchäftigen wollen, ſo müſſen wir uns in erſter Linie ein größeres Gefäß verſchaffen, das wir ausſchließlich für dieſen Zweck benutzen können. In vielen Fällen kommt man ſchon mit einem großen Einmachglas aus. Um die zu metalliſierenden Gegenſtände, die ſogen. Waren, bequem in das Bad (ſo nennt man die zerlegende Löſung) einhängen zu können, legt man einen ſtarken, blanken Kupferdraht quer über die Öffnung des Glaſes. Ein zweiter gleicher Draht dient zum Anhängen der Anoden. Damit die beiden Stangen den nötigen Halt haben, ſtecken wir ſie parallel zueinander und 5—6 cm voneinander entfernt durch zwei Korkplatten (aus großen Korkſtöpſeln ſchneiden; vergl. Abb. 198), mit deren Hilfe ſich die Stangen auch am Glas feſtklemmen laſſen (vergl. Abb. 197). Zum Anhängen der Waren benutzt man aus dünnerem Kupferdraht gebogene Haken, die man in der Biegung flachklopft,

damit eine recht breite Berührungsfläche entſteht. Die Anoden werden gleichfalls zum Aufhängen eingerichtet, entweder durch Anlöten von Drahthaken oder beſſer durch Annieten breiter Kupfer- oder Nickelblechſtreifen, wie es Abb. 199 zeigt.



198. Zuleiteſtangen mit Korkplatten und Anſchlußdrähten.

Bei der Herſtellung der Bäder gilt als oberſter Grundſatz, daß nur reinſte Chemikalien verwendet werden dürfen.

Ein gutes Kupferbad erhält man, wenn man 15 Teile eiſenfreies kriſtalliſiertes Kupfervitriol in 100 Teilen Waſſer löſt und zur Erhöhung der Leitfähigkeit 6 Teile arſenfreie Schwefelſäure zuſetzt.

Ein gutes Nickelbad wird folgendermaßen hergeſtellt. Man löſt 7—8 Gewichtsteile Nickeloxydulammonſulfat (im Sommer 8,

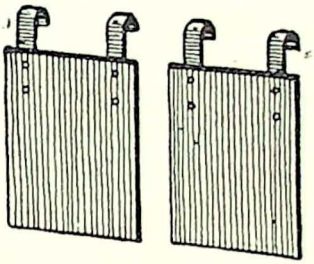


Abb. 199. Platten-Elektroden.

im Winter 7 Teile) in 100 Gewichtsteilen kochenden Waſſers und fügt zur Erhöhung der Leitfähigkeit 5 Gewichtsteile ſchwefelſaures Ammonium hinzu. Verwendet man zuviel von dieſem Leitungsſalz, ſo vernickeln die unteren Teile der Waren ſich ſchneller als die oberen. Dadurch werden die Überzüge ungleich, alſo unbrauchbar. Ein geringer Zuſatz von Zitronen-

oder Eſſigſäure führt zu rein weißen Niederſchlägen, während das Nickel ſonſt einen Stich ins Blaue hat.

Will man auf einem metalliſchen Gegenſtand einen feſthaftenden Überzug erzielen, ſo muß man ihn, bevor man ihn ins Bad bringt, ſorgfältig von Fett, Schmutz, Roſt uſw. befreien. Zunächſt wird er durch Eintauchen in eine Sodalöſung entfettet, abgeſpült, mit einem Brei aus wenig Waſſer und gleichen Teilen Ätzkalk und Schlemmkreide gebürſtet (Borſtenbürſte!) und abermals abgeſpült. Dieſer Prozeß wird mehrmals wiederholt. Sobald das Waſſer die ganze Oberfläche benetzt, iſt kein Fett mehr vorhanden.

Alle Gegenſtände aus nicht leitendem Material, beiſpielsweiſe aus Holz, Ton, Leder uſw., ebenſo Gipsformen, die man metalliſieren will, müſſen leitend gemacht werden, bevor man ſie ins Bad bringt. Am einfachſten geſchieht das durch Aufbürſten von feinſtem Graphitſtaub, den man unter dem Namen Galvanographit kaufen kann. Das Pfund koſtete vor dem Kriege 90—100 Pfg. Die dabei benutzten Bürſten oder Pinſel müſſen ganz weiche Haare beſitzen, damit ſie die Gegenſtände nicht zerkratzen. Auch Bronzepulver läßt ſich zum Leitendmachen verwenden.

Die zu metalliſierenden Gegenſtände ſind möglichſt parallel zu den Anoden in das Bad zu hängen, und zwar ſo tief, daß die Badflüſſigkeit ſie vollſtändig bedeckt; die Seiten und den Boden der Wanne dürfen ſie jedoch nicht berühren. Der Abſtand der Gegenſtände von den Anoden richtet ſich danach, ob die Oberfläche große Unebenheiten aufweiſt oder nicht. Zu ſtarke Annäherung an die Anoden hat ungleichmäßige Ablagerung zur Folge. Zu groß darf der Abſtand aber auch nicht ſein. Durch Verſuche läßt ſich der richtige Abſtand ſchnell ermitteln. Bei flachen Gegenſtänden geht man im allgemeinen über 8—10 cm Abſtand nicht hinaus.

Runde Gegenſtände, Statuetten und dergl. bringt man am beſten in die Mitte eines runden Gefäßes, deſſen Wandung man ringsherum mit Kupfer-, bzw. Nickelblechſtreifen behängt. Dieſe Streifen werden ſämtlich untereinander und mit dem

poſitiven Pol der Stromquelle verbunden. Das Metall ſchlägt ſich dann auf allen Seiten gleichmäßig nieder.

Graphitierte Formen ſind vor dem Einhängen mit Alkohol zu übergießen, um das Anſetzen von Luftbläschen zu verhindern. Gegenſtände, die im Bad ſchwimmen würden, werden durch mit Aſphaltlack überzogene Bleiſtückchen beſchwert.

Als Stromquelle benutzt man bei galvanotechniſchen Arbeiten am beſten zwei bis drei mittelgroße Bunſenelemente. Chromſäureelemente ſind ebenfalls brauchbar, vor allem, wenn es ſich um die Metalliſierung kleinerer Gegenſtände handelt.

Beim Anſchluß der Stromquelle an das Bad iſt ſtets zu beachten, daß das Anodenmetall vom Strom zur Kathode hinübergetragen werden ſoll. Der + Pol der Stromquelle iſt alſo ſtets mit den Anoden zu verbinden, während der — Pol an die Warenſtange kommt.

2. Was beim Vernickeln zu beachten iſt.

Das auf S. 247 angegebene Nickelbad erfordert bei 10 cm Entfernung der Waren von der Anode eine Spannung von 1,8—2 Volt und eine Stromſtärke von 0,3 Amp. auf den Quadratdezimeter zu vernickelnde Warenfläche. Die wirkliche Stromſtärke iſt danach von Fall zu Fall zu berechnen. Um die Stromſtärke regeln zu können, ſchaltet man einen Regulierwiderſtand zwiſchen Bad und Stromquelle ein (vergl. Abb. 200).

Hat der Strom die richtige Stärke, ſo bedecken ſich die Waren ſchon nach wenigen Minuten vollſtändig mit Nickel. Iſt das nicht der Fall, werden die Waren vielmehr dunkel und mißfarbig, ſo iſt entweder der Strom zu ſchwach oder die Stromquelle falſch angeſchloſſen. Vernickeln die Waren ſich ſchnell, werden ſie aber nach wenigen Minuten mattgrau, ſo iſt der Strom zu ſtark. Heftige Gasentwicklung an den Waren zeigt ebenfalls zu ſtarken Strom an; mäßige Gasentwicklung iſt normal. Eine Ausnahme bildet die Vernicklung von Zinkgegenſtänden; hier iſt der Strom ſo einzuſtellen, daß ſtarke Gasentwicklung auftritt. Ein mißlungener Niederſchlag muß

durch Abſchleifen mit Schmirgel wieder entfernt werden, bevor man weiter arbeitet, da ſonſt die neue Nickelſchicht nicht haftet.

Bevor die zu vernickelnden Gegenſtände in das Bad gebracht werden, ſind ſie mit der Warenſtange zu verbinden; zugleich iſt der Strom einzuſchalten. Die Temperatur das Bades ſoll nicht unter 20° C ſinken. Man bringt zweckmäßig an der Wanne ein Thermometer T an, das in die Badflüſſigkeit taucht, ſo daß man die Temperatur beſtändig ableſen kann (vergl. Abb. 200).

Kupfer, Meſſing, Bronze und Neuſilber laſſen ſich direkt vernickeln. Zink, Zinn und Blei müſſen zuerſt ſchwach verkupfert werden, bevor man ſie ins Nickelbad bringt. Eiſen oder Stahl kann man auch direkt vernickeln, eine vorherige Verkupferung iſt aber zu empfehlen. Soll die Vernicklung unbedingt roſtſicher ſein, ſo iſt erſt ſtark zu vernickeln, dann ſtark zu verkupfern und nun nochmals ſtark zu vernickeln.

Wie lange man den Strom einwirken laſſen muß, hängt von der Stärke ab, die der Überzug haben ſoll. Braucht man nur eine leichte Vernicklung, mehr eine Färbung, ſo bleiben die Waren nur wenige Minuten im Bad. Um einen kräftigen Niederſchlag zu erzielen, muß man die Waren mindeſtens 20—30 Minuten im Bad laſſen. Sobald ein mattbläulicher Schein auftritt, iſt der Niederſchlag dick genug.

Wird der Niederſchlag dunkel oder gelbfleckig, ſo iſt entweder ſchlecht entfettet worden, oder das Bad enthält zu wenig Leitungsſalz. Auch durch ungenügenden oder zu großen Gehalt an Nickelſalz können ſchlechte Überzüge entſtehen.

Die Anoden ſchneidet man aus 1—2 mm ſtarkem Reinnickelblech, das man in elektrotechniſchen Geſchäften kaufen kann. Für größere Bäder braucht man zwei oder mehr Anoden, die man nebeneinander aufhängt. Zum Aufhängen dienen am beſten angenietete Nickelſtreifen. Verwendet man angelötete Haken aus Kupferdraht, ſo achte man darauf, daß ſie nicht ins Bad hineinreichen, da die Flüſſigkeit ſonſt verunreinigt wird. Stark abgenutzte Anoden bindet man mit Nickeldraht

aufeinander. Auf dieſe Weiſe kann man die Bleche bis zum letzten Reſt ausnutzen.

Ohne Mißerfolge geht es anfänglich bei der Vernicklung ſelten ab. Die Urſache dafür liegt faſt ſtets in ſchlechter Entfettung oder Unachtſamkeit bei den vorbereitenden Arbeiten. Die entfetteten und blank gemachten Waren müſſen ſofort ins Bad kommen. Iſt das nicht möglich, ſo bewahrt man ſie

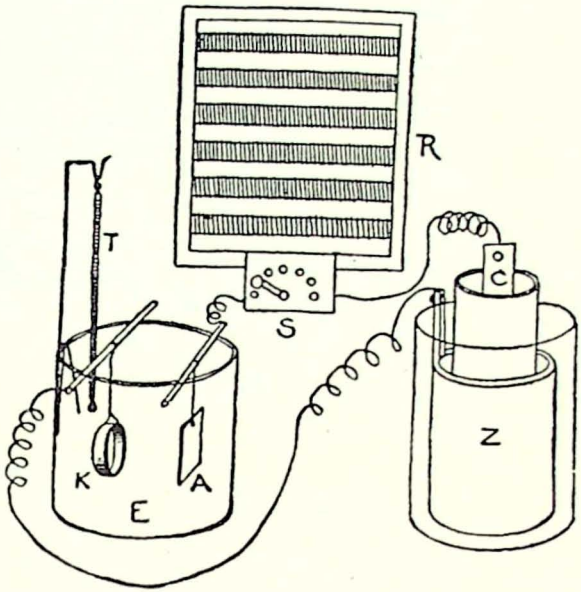


Abb 200. Vollſtändige kleine Anlage für galvanotechniſche Arbeiten mit Regulierwiderſtand zur Regelung der Stromſtärke und Thermometer zur Meſſung der Badtemperatur.

unter reinem Waſſer auf, in dem ſie jedoch nicht allzulange bleiben dürfen. Berührung mit den Händen iſt nach der Säuberung unbedingt zu vermeiden, da die Waren dadurch wieder fettig werden. Lötſtellen ſind beſonders blank zu putzen. Am beſten verkupfert man gelötete Waren vor dem Vernickeln. Hält man die angegebenen Vorſchriften genau ein, ſo wird der Erfolg nicht auf ſich warten laſſen.

3. Winke für die Verkupferung.

Das auf S. 247 angegebene Kupferbad erfordert bei 10 cm Elektrodenentfernung eine Spannung von 1,5 Volt und eine Stromstärke von 0,5—1 Amp. auf den Quadratdezimeter Warenfläche. Man beginnt mit ziemlich schwachem Strom und bringt die Stromstärke durch Ausschalten von Widerstand ganz allmählich auf die volle Höhe. Entsteht kein Niederschlag oder färben die Waren sich dunkel, so ist die Stromquelle falsch angeschlossen. Wenn alles in Ordnung ist, tritt schon nach wenigen Minuten eine leicht rosige Färbung an den Waren auf. Das ist die erste dünne Kupferschicht. Ist der Strom zu stark, so wird der Niederschlag rostfarbig und schwammig. Er gleicht dann einem Überzug aus rotbraunem Schlamm und ist natürlich unbrauchbar. Man muß ihn durch Kratzen mit einer Messingdrahtbürste vollständig entfernen, bevor man weiter arbeitet. Starke Wasserstoffentwicklung an den Waren und ein leicht abblätternder, an den Rändern schwärzlicher Niederschlag zeigen ebenfalls zu große Stromstärke an.

Ein guter Kupferniederschlag ist schön rosa gefärbt und sehr feinkörnig. Braune, grobkörnige Niederschläge taugen nichts. Bemerkt man, daß ein Niederschlag dieses Aussehen annimmt, so ist die Stromstärke sofort zu verringern.

Die Anoden schneidet man aus Reinkupferblech. Es empfiehlt sich, die Blechstücke vor der Verwendung auszuglühen, da sie dadurch leichter löslich werden. Grünspan ist durch Einlegen in ein Gemisch aus 4 T. Wasser, 1¾ T. Salpetersäure (Vorsicht!) und 3 T. Schwefelsäure (Vorsicht!) zu entfernen. Die Größe und Zahl der Anoden ist so zu wählen, daß die Anodenfläche etwas größer als die Warenfläche ist. Nach einiger Zeit bildet sich an den Anoden ein brauner Schlamm, der sorgfältig abgebürstet werden muß. Die Anoden sind dazu aus dem Bad zu entfernen.

Die Zeitdauer des Prozesses hängt von der Stärke ab, die der Niederschlag haben soll. Ist die Kupferschicht nur als Grundlage für eine Vernicklung bestimmt, so genügt es, 5 Mi-

nuten lang die volle Stromſtärke wirken zu laſſen. Man nimmt dann die Waren heraus, kratzt ſie mit einer nicht zu harten Meſſingdrahtbürſte, hängt ſie nochmals für weitere 15—20 Minuten bei ganz ſchwachem Strom ein, ſpült gut ab und bringt ſie ſofort in das Nickelbad. Eine Ausnahme bildet die Behandlung ſpäter zu vernickelnder Zink- und Eiſenbleche. Man läßt ſie nur 3—5 Minuten im Kupferbad, ſpült dann gut ab und bringt ſie gleich ins Nickelbad, ohne vorher zu kratzen.

Braucht man einen ſtarken Kupferüberzug, ſo läßt man die Waren zunächſt 10 Minuten im Bad, kratzt ſie dann mit einer nicht zu harten Meſſingdrahtbürſte, entfettet, bringt ſie aufs neue ins Bad, kratzt nach 10 Minuten abermals und fährt ſo fort, bis die Kupferſchicht die gewünſchte Stärke erreicht hat. Dann bürſtet man mit einer Weinſteinlöſung, ſpült gut in heißem Waſſer ab und trocknet.

Bei galvanoplaſtiſchen Arbeiten ſind die Waren 12 bis 36 Stunden im Bad zu laſſen. Nach dem Herausnehmen werden ſie gut mit heißem Waſſer abgeſpült. Auf dieſes Abwaſchen der fertig verkupferten Gegenſtände iſt beſondere Sorgfalt zu verwenden. Alle Spuren der Kupfervitriollöſung müſſen entfernt werden. Im andern Fall färbt ſich der Gegenſtand beim Trocknen ſchmutzig braun.

Die Temperatur des Bades ſoll 15° C nicht unterſchreiten und nicht über 20° C ſteigen.

4. Das Fertigmachen.

Wenn die metalliſierten Gegenſtände aus dem Bad kommen, ſehen ſie ganz anders aus, als man im allgemeinen erwartet. Verkupferte Gegenſtände ſind blaßroſa gefärbt wie friſches, rohes Kalbfleiſch. Die Farbe der Nickelüberzüge gleicht einem undurchſichtigen fahnigen Weiß, häufig mit einem Stich ins Blaue. Erſt durch das Fertigmachen, das Putzen und Polieren, nehmen die Gegenſtände die uns bekannte Kupfer- und Nickelfarbe an. Zum Putzen benutzt man am beſten

Wiener Kalk, der mit einem weichen Tuche aufgerieben wird. Zum Polieren braucht man einen Polierſtahl (in Werkzeuggeſchäften käuflich), mit dem man die mit Seifenwaſſer benetzte Fläche reibt, bis ſie glatt und glänzend erſcheint. Der Polierſtahl iſt immer ſauber und blank zu halten, da er andernfalls die Fläche zerkratzt. Wird er nicht gebraucht, ſo wickelt man ihn in ölgetränkten Flanell.

Kleine Gegenſtände poliert man dadurch, daß man ſie in ein halb mit Sägeſpänen (Sägmehl) gefülltes Säckchen bringt, die Öffnung zubindet und dann eine Zeitlang kräftig ſchüttelt.

Inhalt.

Seite

Vorwort 6

Erſtes Kapitel: Allgemeine Betrachtungen 7

Zweites Kapitel: Galvaniſche Elemente und Batterien . . . 15

1. Das Zink-Kohle-Salmiak-Element. 16

2. Die Verbindung mehrerer Elemente zu einer Batterie 20

3. Das Chromſäure-Element 21

4. Das Daniell-Element 25

5. Das Bunſen-Element 28

6. Das Krüger-Element 30

Drittes Kapitel: Akkumulatoren 33

1. Allgemeines 33

2. Die Selbſtanfertigung ſtationärer Akkumulatoren . . 42

3. Die Selbſtanfertigung kleiner, tragbarer Akkumulatoren 64

Viertes Kapitel: Schalter, Verbindungsklemmen, Sicherungen . 81

1. Taſterſchalter 81

2. Kurbelſchalter 83

3. Stromwender 87

4. Klemmſchrauben 88

5. Schmelzſicherungen 92

Fünftes Kapitel: Widerſtände (Rheoſtaten) 98

1. Kurbelwiderſtände 107

2. Stöpſelwiderſtände 115

3. Kohlenwiderſtände 117

4. Flüſſigkeitswiderſtände 119

Sechſtes Kapitel: Galvanoſkope oder Stromzeiger 121

Siebentes Kapitel: Elektriſche Meßinſtrumente 132

1. Allgemeines 132

2. Ein Weicheiſen-Meßinſtrument 135

3. Ein Hitzdraht-Meßinſtrument 138

4. Die Eichung von Meßinſtrumenten 140

Achtes Kapitel: Elektromagnete 142

1. Allgemeines 142

2. Stab-Elektromagnete 143

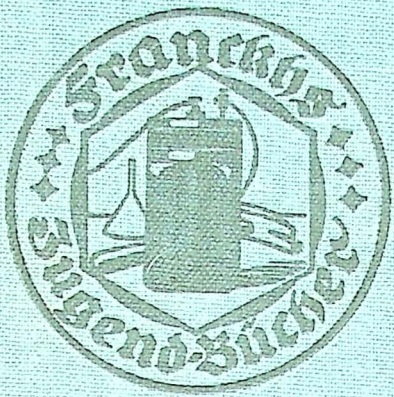
3. Hufeiſen-Elektromagnete 144

Neuntes Kapitel: Elektriſche Läutewerke u. andere Signalapparate 146

1. Allgemeines 146

2. Elektriſche Trommeln 147

Seite
3. Raſſelglocken 151
4. Elektriſche Summer 152
5. Schaltungsſkizzen für elektriſche Klingelanlagen . . . 153
Zehntes Kapitel: Telegraphenapparate 157
1. Der Schreibtelegraph 157
2. Der Klopfer 162
3. Die Morſetaſte 164
4. Eine einfache Klopferanlage 164
Elftes Kapitel: Fernſprechapparate 167
1. Allgemeines 167
2. Fernhörer 168
3. Eine einfache Fernſprechanlage 170
4. Das Mikrophon 172
5. Das Fernſprechgehäuſe und der Hakenumſchalter . . 175
Zwölftes Kapitel: Dynamomaſchinen 181
1. Allgemeines 181
2. Eine einfache magnetelektriſche Maſchine 185
3. Eine einfache Nebenſchlußdynamo 192
Dreizehntes Kapitel: Elektromotoren 201
1. Allgemeines 201
2. Ein einfacher Hauptſchlußmotor 203
Vierzehntes Kapitel: Induktionsapparate 207
1. Allgemeines 207
2. Kleine Induktionsapparate 209
3. Funkeninduktoren 214
Fünfzehntes Kapitel: Apparate für Wellentelegraphie . . . 224
1. Allgemeines 224
2. Der Funkeninduktor 228
3. Die Starkſtrom-Morſetaſte 231
4. Die Antenne 233
5. Die Erdleitung 236
6. Der Fritter 237
7. Die übrigen Empfangsapparate 238
Sechzehntes Kapitel: Galvanotechnik 242
1. Allgemeines 242
2. Was beim Vernickeln zu beachten iſt 249
3. Winke für die Verkupferung 252
4. Das Fertigmachen 253


Franckh
Jugend-Bücher